ITRC
وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات
پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

ابر منظومه‌ها و نسل جدید اینترنت ماهواره‌ای



تالیف و گردآوری:

محمد بُد — هیات علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

پروین سجودی‌سردرود — پژوهشگر پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

لیلا محمدی — هیات علمی پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

بسم الله الرحمن الرحيم

ابرمنظومه‌ها و نسل جدید اینترنت ماهواره‌ای

تالیف و گردآوری:

محمد بُد (استادیار دانشگاه تربیت دبیر رجایی)

پروین سجودی (پژوهشگر پژوهشگاه ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات)

لیلا محمدی (عضو هیئت علمی پژوهشگاه ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات)

سرشناسه	: بد، محمد، ۱۳۶۵ -	
عنوان و نام پدیدآور	: ابرمنظومه‌ها و نسل جدید اینترنت ماهواره‌ای/ تالیف و گردآوری محمد بد، پروین سجودی، لیلا محمدی.	
مشخصات نشر	: تهران: موسسه آموزشی تالیفی ارشدان، ۱۴۰۱.	
مشخصات ظاهری	: ۲۳۶ ص.: مصور(رنگی)، جدول، نمودار، نقشه.	
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۰۸-۲۸۱۰-۵	
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا	
یادداشت	: واژه‌نامه.	
یادداشت	: کتابنامه.	
موضوع	: ماهواره‌ها	Artificial satellites
	ماهواره‌های مخابراتی	Artificial satellites in telecommunication
	مخابرات -- سیستم‌ها	Telecommunication systems
	اینترنت – نوآوری	Internet -- Technological innovations
شناسه افزوده	: سجودی سردرود، پروین، ۱۳۵۷-	
شناسه افزوده	: محمدی، لیلا، ۱۳۵۱ -	
رده بندی کنگره	: TL۷۹۶	
رده بندی دیویی	: ۶۲۹/۴۶	
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۸۰۶۳۰۰	
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا	



مؤسسه آموزشی تألیفی ارشدان

■ نام کتاب:	**ابرمنظومه‌ها و نسل جدید اینترنت ماهواره‌ای**
■ تالیف و گردآوری:	**محمد بد- پروین سجودی- لیلا محمدی**
■ ناشر:	آموزشی تألیفی ارشدان
■ ویرایش:	اول
■ نوبت چاپ:	اول ۱۴۰۱
■ حروفچینی و صفحه آرایی:	www.irantypist.com
■ طراح و گرافیست:	www.irantypist.com
■ شابک:	۹۷۸-۶۲۲-۰۸-۲۸۱۰-۵
■ شمارگان:	۱۰۰۰
■ مرکز خرید آنلاین:	www.arshadan.com www.arshadan.net
■ مرکز پخش و توزیع:	۰۲۱۴۷۶۲۵۵۰۰
■ قیمت:	۹۰۰۰۰ تومان

پیشگفتار ناشر:

به نام ایزد دانا که آغاز و انجام از آن اوست

هرگز دل مـن زعلـم محـروم نشـد   کم ماند زاسرار که مفهوم نشد
اکنون که به چشم عقل در می نگرم   معلومم شد که هیچ معلوم نشد

ای دانای بی همتا، ای بخشنده ایی که ناخواسته عطا فرمایی و هـر نیازمنـدی را بـه عـدالت بی‌نیاز گردانی، مگر اینکه نالایق باشد و آن عنایـت را بـه باژگونـه از دسـت دهـد. در عرصـه پیشرفت تکنولوژی در هزاره سوم، هنوز نیـاز بـر مطالعـه کتـاب در کنـار اسـتفاده از منـابع کامپیوتری و اینترنت احساس می شود. از این بابـت خوشـحالیم کـه مـی تـوانیم در جهـت اعتلای علم، دانش و فرهنگ کشور قدمی هر چند کوچک برداریم.

و من الله التوفیق

دکتر شمس الدین یوسفیان

مدیر مسئول انتشارات ارشدان

فهرست مطالب

پیشگفتار

با پیشرفت روزافزون علم و فن‌آوری، ماهواره‌های مخابراتی نیز در سال‌های اخیر دچار تحول و تغییرات فراوانی شده‌اند. منظومه‌های ماهواره‌ای سابقه‌ای بیش از ۲۰ سال در فن‌آوری فضایی و ارتباطات ماهواره‌ای دارند. منظومه‌های موقعیت‌یاب یکی از موفق‌ترین ساختارهای منظومه‌ای در سال‌های ۲۰۰۰ میلادی بودند. در سال‌های اخیر دو فرآیند کوچک‌سازی ماهواره‌ها و کاهش هزینه‌های پرتاب، موجب توجه بیش از پیش به بحث منظومه‌های ماهواره‌ای شده است. ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای با استقرار هزاران ماهواره در مدار ارتفاع پایین (LEO)، قصد ارایه خدمات متنوعی برای کاربران دارند. چنین ساختارهای عظیمی امکان ایجاد ارتباطات پهن‌باند و ارایه اینترنت پرسرعت را در سطح جهان فراهم خواهند کرد. موضوعی که می‌تواند سیستم‌های مخابراتی را در آینده نزدیک، دچار تحول نماید.

در عین حال که ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای با استفاده از فن‌آوری‌های جدید، امکانات قابل توجهی را برای کاربران در سال‌های آتی فراهم خواهند کرد، چالش‌های متعددی نیز در این‌خصوص مطرح می‌شود. بسیاری از این چالش‌ها هنوز به صورت کامل شناخته شده نیستند و لیکن چالش‌هایی نظیر استفاده عادلانه از منابع مداری لئو، مدیریت ترافیک فضایی، پسماندهای فضایی، حقوق سرزمینی کشورها و تداخلات رادیویی روزافزون، از جمله مواردی هستند که در حال حاضر در برخی از نشست‌ها و سازمان‌های بین‌المللی مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین استقرار ابتدایی ابرمنظومه‌ها، اعتراضات بسیاری را در جوامع علمی نجوم و اخترشناسی و محیط زیست برانگیخته است و بسیاری سازمان‌های بین‌المللی در جهت مقابله با این فن‌آوری گام برداشته‌اند. علاوه بر این بسیاری از کشورها نسبت به این فن‌آوری جدید موضع‌گیری‌هایی را مطرح کرده‌اند که بررسی آن‌ها جهت اتخاذ رویکرد در کشور ما نیز می‌تواند موثر باشد.

در کتاب پیشِ رو ضمن معرفی فن‌آوری ابرمنظومه‌ها و ترسیم دورنمایی از عصر فضایی جدید با حضور ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای، به بررسی دستاوردهای فنی این فن‌آوری خواهیم پرداخت و فعالیت‌های چند شرکت پیشرو نظیر اسپیس‌ایکس، وان‌وب، آمازون و غیره را مورد بررسی قرار خواهیم داد. در این کتاب همچنین به تبیین چالش‌های حقوقی مرتبط با فن‌آوری ابرمنظومه‌ها خواهیم پرداخت و مزایا و معایب این فن‌آوری را تحلیل خواهیم کرد. معرفی سازمان‌های بین‌المللی درگیر در بحث ابرمنظومه‌ها، بررسی و ارایه راهکارهای دفاع از

حقوق بین‌المللی در زمینه ابرمنظومه از اهداف دیگر این کتاب است. شایان ذکر است، منظومه‌های ماهواره‌ای کاربری‌های گسترده‌ای فراتر از اینترنت ماهواره‌ای دارند اما تمرکز این کتاب بر روی اینترنت ماهواره‌ای می‌باشد و هر جا از منظومه صحبت شده، منظور منظومه‌های با کاربری اینترنت ماهواره‌ای هستند.

این کتاب در پنج فصل تنظیم شده است. در فصل اول به معرفی عصر فضایی جدید پرداخته و برخی از آخرین دستاوردهای فن‌آوری ماهواره بررسی می‌شود. دستاوردهایی نظیر کاهش هزینه پرتاب، کاهش ابعاد و وزن ماهواره‌ها، افزایش قابلیت‌های پردازشی ماهواره‌ها، نیاز به شبکه‌های غیرزمینی در توسعه نسل‌های آینده سیستم‌های ارتباطی و گسترش منظومه‌های ماهواره‌ای از جمله مهم‌ترین پیشرفت‌ها در زمینه سامانه‌های ماهواره‌ای می‌باشد. در ادامه با بررسی موارد استفاده ارتباطات ماهواره‌ای، اهمیت این فن‌آوری در پیشبرد کارایی شبکه‌های ارتباطی را بررسی خواهیم کرد و در نهایت برخی از ویژگی‌های ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای را به عنوان یکی از مهم‌ترین فن‌آوری‌های عصر فضایی جدید معرفی خواهیم نمود.

در فصل دوم با نگاه دقیق‌تر آخرین دستاوردهای شرکت‌های مختلف را در زمینه ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای بررسی خواهیم کرد. در این فصل تمامی دستاوردهای فنی و تاریخچه عملیاتی و اهداف شرکت‌های اسپیس‌ایکس، وان‌وب، O3b، آمازون و mPOWER O3B بررسی می‌شود و توضیحات مختصری در مورد پروژه منظومه نانو ماهواره‌ای لینک[1]، آورده خواهد شد.

در فصل سوم به معرفی چالش‌ها و مسائل حقوقی مطرح در خصوص ابرمنظومه‌ها می‌پردازیم. این ساختارهای عظیم در کنار دستاوردهای فنی بی‌نظیر دارای چالش‌های متعددی به خصوص برای کشورهای در حال توسعه هستند. برخی از این چالش‌های حقوقی مطرح، مواردی همچون حق دسترسی عادلانه به مدار لئو، تقسیم عادلانه طیف فرکانسی، مدیریت ترافیک فضایی، حقوق سرزمینی کشورها، محدودیت‌های فیزیکی برای علوم نجوم و غیره هستند. هریک از این مسائل در آینده می‌تواند به طور جدی کشورها را از برخی حقوق مرتبط با فضا محروم نماید.

1 Lynk

در فصل چهارم، تحلیل سوات (نقاط قوت و ضعف و بررسی فرصت و تهدید) در خصوص ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای صورت می‌پذیرد. به این معنا که نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای این فن‌آوری که بر اساس تحقیقات انجام شده و خبرگی نویسندگان احصا شده به صورت جامع و تفصیلی مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت. این تحلیل به تمام نهادهای بالادستی و کارشناسان کمک می‌کند تا تصمیمات و استراتژی‌های مناسب را در زمینه این فن‌آوری اخذ کنند.

در فصل پنجم به بررسی اینترنت ماهواره‌ای و شبکه ملی اطلاعات می‌پردازیم. اهمیت و جایگاه شبکه ملی اطلاعات و لزوم بازبینی برخی از الزامات و مقررات در زمینه فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای و همچنین ارایه راهکارهایی برای برآورده کردن الزامات شبکه ملی اطلاعات با حضور ابرمنظومه‌ها از جمله بحث‌های اصلی این فصل است.

این کتاب حاصل بیش از دو سال پژوهش در زمینه ابرمنظومه‌ها در پژوهشگاه ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد، ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای در عین حال که یک فن‌آوری جدید و بی‌نظیر در آینده خواهند بود، ممکن است بسیاری از کشورها را از حقوق خود به طور جدی محروم نمایند. لذا توجه به این فن‌آوری و برنامه‌ریزی برای مواجهه با آن در سال‌های آتی، بدون مقابله منفعلانه و یا انکار فن‌آوری بلکه با حضور فعال و موثر در مجامع بین‌المللی بهترین راهکار برای هر کشوری است. امری که نیازمند داشتن اطلاعات کامل و دقیق از آخرین دستاوردهای فنی و چالش‌های حقوقی منظومه‌هاست. از اینرو کتاب حاضر برای بسیاری از سیاست‌گذاران عرصه فضایی، محققان و دانشجویان مجموعه‌ای کامل از مطالب را جمع‌آوری کرده است. امید است که با نگارش این کتاب توانسته باشیم، گامی موثر در جهت پیشبرد اهداف کشور عزیزمان ایران در عرصه فضایی برداریم.

همچنین از زحمات خانم‌ها رقیه کریم‌زاده بائی و اعظم مرتضویی از اعضای هیات علمی و کارشناسان پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات که با داوری خود باعث ارتقای سطح علمی کتاب شدند، قدردانی می‌شود.

نویسندگان

زمستان ۱۴۰۰

فصل اول: عصر فضایی جدید و ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای

۱-۱. مقدمه

از زمان پیدایش ماهواره، این فن‌آوری نقش بسیار پررنگی در سیستم‌های مخابراتی داشته است. از جمله کاربردهای شناخته شده ماهواره‌ها در سال‌های گذشته می‌توان به پخش همگانی، سامانه‌های پشتیبانی[1]، ارایه سرویس ارتباطی به مناطق دورافتاده، جمع‌آوری اطلاعات و غیره اشاره نمود. در سال‌های اخیر و با پیدایش کاربری‌های متنوع مبتنی بر اینترنت، ارتباطات ماهواره‌ای نیز به سمت خدمات مبتنی بر داده حرکت کرده که منجر به ارتباطات ماهواره‌ای پهن‌باند شده است. در تغییر نقش ارتباطات ماهواره‌ای، می‌توان دو موضوع را در نظر گرفت: الف) گسترش سریع ارتباطات دو طرفه[2] به جای ارتباطات یک طرفه (پخش یک طرفه) ب) نیاز فوری به گسترش پوشش خدمات پهن‌باند در مناطق فاقد زیرساخت زمینی مناسب (به عنوان مثال مناطق دورافتاده، صنایع هوایی/دریایی و .....).

توسعه فناوری و انقلاب صنعتی چهارم، موجب ظهور "عصر فضایی جدید[3]" شده است. عصر جدید به یک فن‌آوری خاص اشاره نمی‌کند، بلکه به معنای یک ذهنیت جدید نسبت به فضا است[1]. در حقیقت نیاز به ارتباطات پهن‌باند به صورت گسترده موجب ورود

1 Backup
2 Media streaming
3 New space era

شرکت‌های خصوصی به عرصه فضا شده است. در سال‌های اخیر شرکت‌های خصوصی، فن‌آوری‌های مخابراتی، نرم‌افزاری و الکترونیکی متنوعی را گسترش داده‌اند و در عرصه‌هایی ورود کرده‌اند که پیش از این فقط مختص دولت‌ها و تعداد انگشت‌شماری از شرکت‌های بزرگ بین‌المللی بود. "عصر فضایی جدید" باعث ایجاد تعداد زیادی از مأموریت‌های نوآورانه پهن‌باند شده است که همگی نیازمند پیشرفت در سیستم‌های مخابرات ماهواره‌ای است و بازیگران جدیدی را می‌طلبد[1].

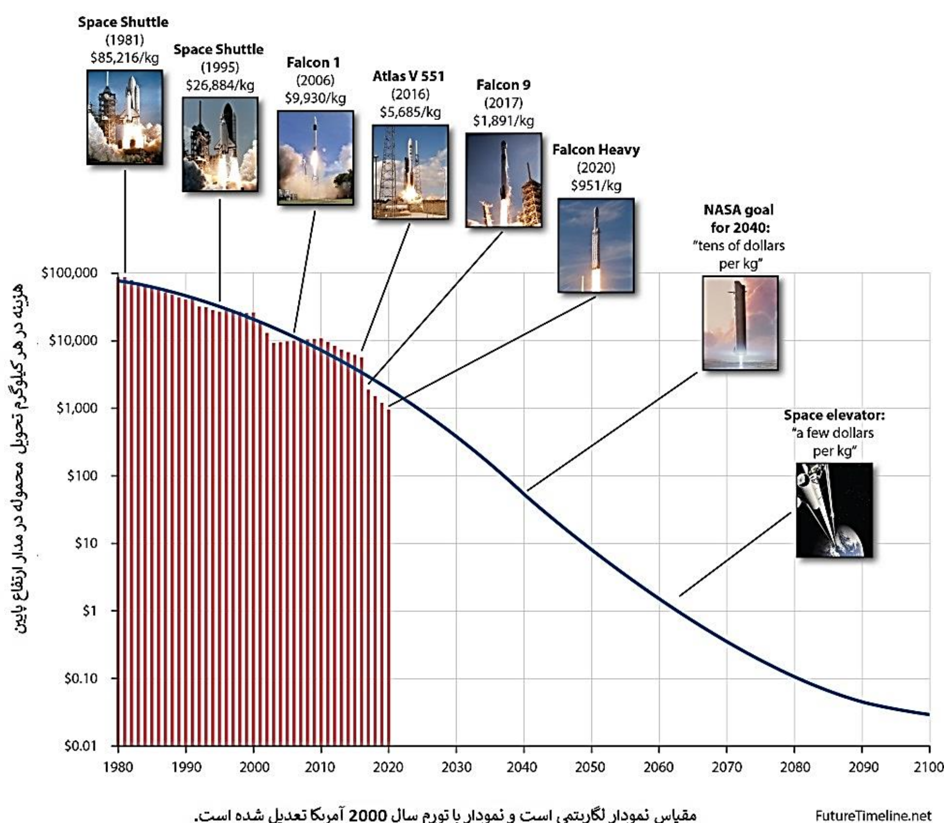
سه دلیل اصلی سبب شکل‌گیری عصر فضایی جدید شده است: ۱) خصوصی‌سازی فضا، ۲) کوچک‌سازی ماهواره، ۳) خدمات جدید بر اساس قابلیت‌های ماهواره‌ها. خصوصی‌سازی به تولید و به خصوص پرتاب ماهواره توسط شرکت‌های خصوصی، مانند اسپیس‌ایکس و Rocket Lab، برخلاف رویکرد نهادی سنتی اشاره دارد. به موازات آن، کوچک‌سازی ماهواره‌ها امکان دسترسی آسان به فضا را با قرار دادن ده‌ها ماهواره کوچک در اندازه میکرو و یا نانو در یک پرتابگر فراهم کرده است. ترکیبی از دو جنبه اول به همراه دسترسی سریع و نسبتاً ارزان به فضا، به جنبه سوم (خدمات جدید) منجر شده است. در حال حاضر، ده‌ها شرکت خصوصی در حال ایجاد رقابت برای راه‌اندازی خدمات تجاری مناسب توسط ماهواره‌ها هستند. تقریباً همه این سرمایه‌گذاری‌ها به مدارهای ارتفاع پایین زمین (LEO) معطوف شده است که خود چالش‌هایی را برای این نوع ارتباطات ایجاد خواهد کرد.

۱-۲. تحولات فن‌آوری ماهواره در سال‌های اخیر

۱-۲-۱. کاهش هزینه پرتاب

در سال‌های اخیر همگام با پیشرفت در حوزه‌های مختلف ارتباطی، فن‌آوری‌های ماهواره نیز دچار تغییر و تحول شده است. همانطور که در شکل ۱-۱- دیده می‌شود، یکی از تحولاتی که در سال‌های اخیر در زمینه ماهواره‌ها افتاده است، کاهش هزینه پرتاب آن‌ها می‌باشد. در دهه ۱۹۸۰ تنها راه دستیابی به فضا برای پرتاب ماهواره یا انسان، استفاده از شاتل‌های فضایی بود و این شاتل‌ها دارای هزینه‌ای در حدود ۸۵,۰۰۰ دلار به ازای هر کیلوگرم وزن پرتاب بودند. در سال ۲۰۰۶، شرکت اسپیس‌ایکس با معرفی فالکون۱ برای مأموریت‌های لئو، این هزینه را به حدود ۱۰,۰۰۰ دلار در هر کیلوگرم رساند. این شرکت در سال ۲۰۱۷ در یک تحول جدی در عرصه پرتابگرهای فضایی، فالکون ۹ را با قابلیت استفاده مجدد، طراحی

کرد. در این طرح، بوستر پرتاب‌کننده پس از قرار دادن ماهواره در فضا، به صورت سالم و عمودی در نقطه‌ای مشخص بر روی زمین برمی‌گردد و قابلیت استفاده مجدد در پرتاب‌های آتی را دارد. این قابلیت موجب کاهش هزینه پرتاب به حدود ۱۸۰۰ دلار به ازای هر کیلوگرم گردید. در نمودار شکل ۱-۱، پیش‌بینی از آینده کاهش هزینه‌های پرتاب ماهواره ارایه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، هدف نهایی ناسا، کاهش هزینه‌های پرتاب ماهواره در محدوده ده‌ها دلار برای هر کیلوگرم تا سال ۲۰۴۰ می‌باشد. موضوعی که می‌تواند دسترسی به فضا را در آینده نزدیک برای تمام کشورها تسهیل نماید.



شکل ۱-۱- کاهش قابل توجه هزینه پرتاب ماهواره‌ها در سال‌های اخیر و پیش‌بینی آینده آن [2]

۱-۲-۲. کوچک‌سازی ماهواره‌ها

رشد فن‌آوری نه تنها منجر به کاهش هزینه‌های پرتاب ماهواره‌ها شده است بلکه وزن ماهواره‌ها را هم به شدت کاهش و ظرفیت آن‌ها را افزایش داده است. به عنوان مثال در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷، متوسط وزن ماهواره‌های پرتاب‌شده کاهش قابل توجه‌ای در حدود ۶۴ درصد داشته است. در سال‌های اخیر بیشتر ماهواره‌های پرتاب شده دارای وزن متوسط در حدود ۲۰۰ کیلوگرم بوده‌اند. همچنین در همین سال‌ها ماهواره‌های کوچک موسوم به ماهواره‌های مکعبی[1] با وزن ۱ تا ۱۰۰ کیلوگرم به صورت گسترده توسعه یافته‌اند. در کنار کاهش وزن، استفاده از فرکانس‌های بالاتر و افزایش کارایی طیف، ظرفیت و توان عملیاتی ماهواره‌ها را به شدت افزایش داده است. ماهواره‌های پرظرفیت[2] (HTS) یکی از فن‌آوری‌های مهم سال‌های اخیر بوده‌اند که در حال جایگزینی با ماهواره‌های سنتی و معمول هستند.

۱-۲-۳. توان پردازشی ماهواره

به طور سنتی پردازش‌های روی برد ماهواره، یک عامل محدودکننده برای بسیاری از استراتژی‌های ماهواره‌ای بوده است. در گذشته اکثر ماهواره‌ها، تنها به عنوان رله عمل می‌کردند. به این معنا که در آن فرکانس دریافتی به فرکانس جدید تبدیل و پس از یک مرحله تقویت، سیگنال به نقطه مشخصی ارسال می‌گردید. بر روی ماهواره‌های سنتی معمولا پردازش‌های سطح بالا صورت نمی‌گرفت. بنابراین تلفات مسیر در ماهواره‌ها قابل توجه بود که از طریق تقویت‌کننده‌های روی ماهواره جبران می‌شد. از آنجاییکه توان مصرفی ماهواره با جرم و هزینه پرتاب ماهواره ارتباط تنگاتنگی دارد بنابراین توان مصرفی ماهواره با توجه به توانمندی پرتاب و هزینه، محدود بود و از لحاظ توانی، امکان پردازش‌های سنگین در ماهواره میسر نبود. در کنار این مسائل، از آنجاییکه امکان تعمیر/ جایگزینی زیرسیستم‌ها، پس از قرار دادن ماهواره در مدار وجود نداشت، اجزاء و فن‌آوری‌های موجود در ماهواره باید از قابلیت اطمینان بالایی از نظر عملکردی برخوردار باشند. تمامی این شرایط باعث گردیده بود که در ماهواره‌های سنتی گام‌هایی فراتر از ایجاد یک تکرارکننده یا رله مخابراتی در فضا رخ ندهد.

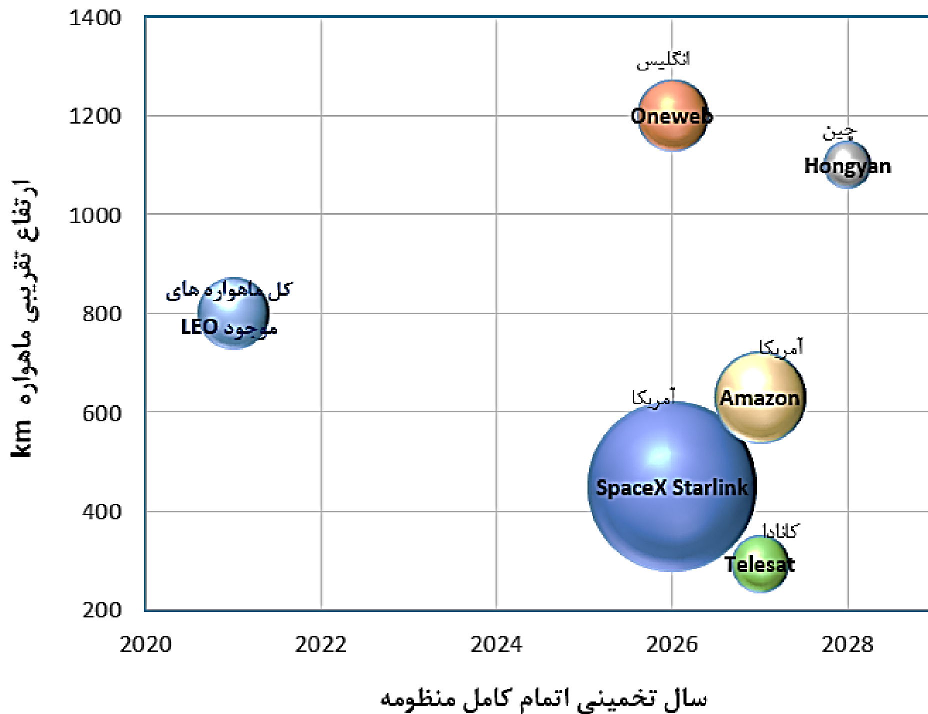
1 CubeSat
2 High-throughput satellite (HTS)

در سال‌های اخیر با پیشرفت‌های رخ داده در زمینه کوچک‌سازی ماهواره‌ها، کاهش مصرف انرژی و بهبود قابل توجه در بهره‌وری انرژی در بخش رادیویی و بخش پردازش دیجیتال، امکان پردازش‌های بیشتر و متفاوت‌تر روی ماهواره فراهم شده است. این پردازش‌ها می‌توانند فن‌آوری‌های نوآورانه ارتباطی مانند مسیریابی/ کانال‌سازی انعطاف‌پذیر[1]، شکل‌دهی پرتو[2] ماهواره و پوشش قابل برنامه‌ریزی در ماهواره را میسر نماید. بعلاوه فن‌آوری رادیو نرم‌افزار[3] امکان پردازش‌های مورد نیاز بر روی برد ماهواره را فراهم نموده است که می‌توانند در طول عمر ماهواره حتی بروزرسانی شوند. در کنار این مسائل کاهش هزینه تولید و پرتاب ماهواره موجب رویکردهای جدیدتر و در عین حال با ریسک‌هایی در فن‌آوری ماهواره شده است[1].

۱-۲-۴. گسترش منظومه‌های ماهواره‌ای

منظومه ماهواره‌ای[4] به گروهی از ماهواره‌ها گفته می‌شود که به منظور ارایه یک سرویس با یکدیگر در ارتباط هستند و بخش عمده‌ای از سطح زمین را پوشش می‌دهند. موضوع استفاده از منظومهٔ ماهواره‌ها برای ارایه یک سرویس مشخص از همان ابتدا و با ظهور ماهواره‌ها مطرح شد. یکی از موفق‌ترین منظومه‌های ماهواره‌ای، منظومه‌های موقعیت‌یاب در دهه ۱۹۸۰ بود. در دهه ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ استفاده از منظومه‌های ماهواره‌ای برای ارایه خدمات پهن‌باند پیشنهاد گردید. در آن سال‌ها دو شرکت ایریدیوم و گلوبال‌استار اقدام به برنامه‌ریزی گسترده برای ارایه سرویس از طریق منظومه‌ای با حدود ۱۰۰ ماهواره نمودند، ولیکن این طرح‌ها در گام‌های ابتدایی با شکست مواجه شد و عملا موضوع منظومه‌های ماهواره‌ای برای ارایه سرویس پهن‌باند در حدود ۱۵ سال کنار گذاشته شد. شکل ۱-۲- نمایی ازرقابت درابرمنظومه های ماهوارهای درفضا را نشان می دهد

1 Flexible routing/channelization
2 Beamforming
3 Software Defined Radio(SDR)
4 Satellite Constellation



شکل ۱-۲-نمایی از رقابت در ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای در فضا[۱] توسط کشورها و شرکت‌های پیشرو.

از سال ۲۰۱۵ با کاهش قابل توجه هزینه‌های پرتاب ماهواره و کوچک‌سازی ماهواره‌ها، بحث منظومه‌های ماهواره‌ای مجدد برای ارایه سرویس پهن‌باند مورد توجه قرار گرفت و شرکت‌های خصوصی نظیر اسپیس‌ایکس[۲] و وان‌وب[۳] به عنوان پیشرو، برای ارایه این سرویس با بیش از ۱۰۰۰ ماهواره برنامه‌ریزی نمودند. در سال‌های اخیر چنین منظومه‌هایی با تعداد زیاد ماهواره، به عنوان ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای[۴] شناخته می‌شوند. ابرمنظومه‌ها در حقیقت یکی از مهم‌ترین تحولات رخ داده در عرصه فن‌آوری ماهواره‌هاست که قابلیت‌های فراوانی

---

۱ سال تخمینی اتمام کامل منظومه به معنای سال آغاز ارایه خدمات نیست. در برنامه‌ی شرکت‌ها آغاز ارایه خدمات به صورت محدود از سال ۲۰۲۱ در نظر گرفته شده است.

2 SpaceX
3 Oneweb
4 Mega satellite Constellation

نظیر کاهش تاخیر، ارتباطات پرسرعت فراگیر و دسترسی به ارتباطات پهن‌باند در نقاط کم برخوردار را ایجاد خواهد نمود.

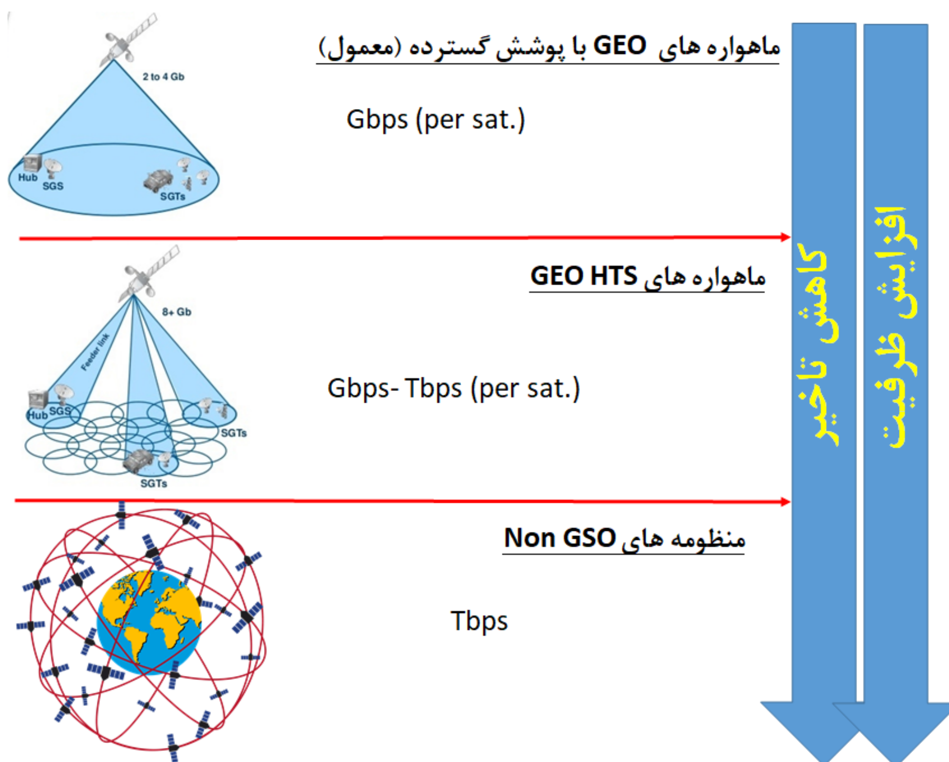
در سال‌های اخیر یک رقابت قابل توجه در میان شرکت‌های بزرگ و حتی کشورها در ارتباط با ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای ایجاد شده است. این موضوع در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، کل ماهواره‌های مدار لئو در آپریل ۲۰۲۰ (بدون احتساب ابرمنظومه‌ها) حدود ۱۵۰۰ عدد بوده است و این در حالی است که فقط اسپیس‌ایکس در فاز اول با منظومه ماهواره‌ای استارلینک قصد دارد، بیش از ۱۱۰۰۰ ماهواره را در فاصله ۳۰۰ تا ۶۰۰ کیلومتری زمین قرار دهد که به تنهایی ۶ برابر ماهواره‌های موجود در مدار لئو می‌باشد. قابل ذکر است که میزان بزرگی و کوچکی دایره در این شکل، نشان‌دهنده ابعاد منظومهٔ برنامه‌ریزی شده است. همچنین در این شکل محور افقی سال تخمینی تکمیل منظومه را نشان می‌دهد. بر اساس برنامه‌های اعلامی ارایه خدمات به صورت منطقه‌ای در برخی از منظومه‌ها از انتهای سال ۲۰۲۱ شروع خواهد شد. چنین ابرمنظومه‌هایی علاوه بر قابلیت‌های منحصر به فرد، چالش‌های فراوانی نیز خواهند داشت که در این کتاب بررسی خواهد شد. باید توجه نمود که این نمودار بخشی از شرکت‌هایی را که فعالیت‌های آنها عملیاتی شده را به تصویر کشیده است و در فاصله ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ بسیاری از شرکت‌ها و کشورهای دیگر نیز برنامه‌هایی برای ثبت یا راه‌اندازی ابرمنظومه‌های خود اعلام نموده‌اند.

۱-۲-۵. ماهواره‌های پرظرفیت

چنانکه می‌دانیم ماهواره‌های ژئو دارای پوشش گسترده در منطقه‌ای مشخص از کره زمین هستند. این ماهواره‌ها در کاربردهایی که نیازمند ارتباطات ثابت (غیرمتحرک) هستند، نظیر پخش همگانی، ارتباط ثابت و کاربردهایی که به تاخیر حساس نیستند، کارآیی بالایی دارند. خصوصیت این دسته از ماهواره‌ها پوشش فراگیر و ثابت است و لیکن از لحاظ تاخیر و ظرفیت امکانات محدودی را در اختیار شبکه‌های مخابراتی قرار می‌دهند. اخیرا و در عصر فضایی جدید، علاوه بر ماهواره‌های ژئو کلاسیک دسته دیگری از ماهواره‌ها به نام ماهواره‌های ژئو پرظرفیت معرفی شده‌اند. این ماهواره‌ها، ظرفیت بسیار بیشتری را با قیمت مناسب فراهم می‌کنند و امروزه عمدتا در فرکانس‌های بالای باند مایکروویو (Ku و Ka) کار

می‌کنند و پوشش آنها به صورت چند پرتویی[1] است. پیش‌بینی می‌شود ماهواره‌های ژئو پرظرفیت در سال‌های آتی به صورت گسترده در ارتباطات ماهواره‌ای به ارایه سرویس بپردازند.

ماهواره‌های ژئو پرظرفیت، کاربردهای متنوعی نظیر بکهال[2] شبکه‌های مخابرات سلولی، شبکه‌های ترانک، خدمات متحرک و خدمات پهن‌باند دارند. در شکل ۱-۳- هر سه دسته فن‌آوری ماهواره در عصر فضایی جدید با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود، منظومه‌های غیرژئو از لحاظ ظرفیت و گستردگی پوشش و همچنین کاهش تاخیر بر دو فن‌آوری دیگر برتری دارد.



شکل ۱-۳- فن‌آوری‌های ماهواره در عصر فضایی جدید.

1 Multi spot beam
2 Backhual

۱-۲-۶. همگرایی و نیاز به شبکه‌های غیرزمینی

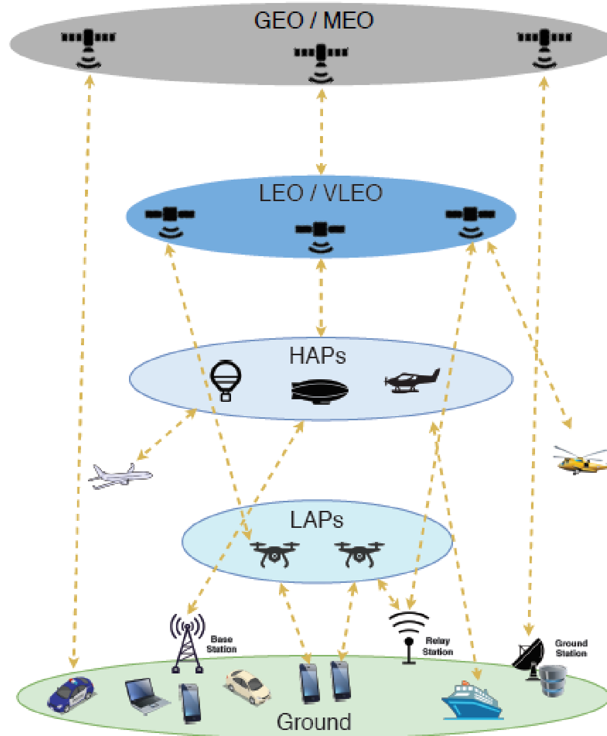
بحث همگرایی[۱] صرفا تحول مرتبط به ماهواره‌ها نیست ولیکن به طور مستقیم بر روی فن‌آوری ماهواره و دیگر شبکه‌های مخابراتی تاثیر می‌گذارد. در حقیقت بحث همگرایی و تجمیع شبکه‌های مختلف مخابراتی یکی از تحولات سال‌های آینده سیستم‌های مخابراتی خواهد بود. در همگرایی فن‌آوری‌های ارتباطی موجود نظیر شبکه‌های ارتباطی ثابت و سیار و فن‌آوری‌هایی نظیر ماهواره یا هواپیماهای بدون سرنشین(پهپاد) همگی بخشی از یک شبکه فراگیر و یکپارچه عمومی خواهند بود. این شبکه عمومی می‌تواند در فرآیند استانداردسازی 5G یا 6G تحقق یابد. شبکه یکپارچه و همگرای مخابراتی، قابلیت‌های منحصر به فردی نظیر پوشش فراگیر، دست به دست شدن[۲] سریع بین فن‌آوری‌های مختلف بدون نیاز به تعویض ادوات را خواهد داشت. در این زمینه ارتباطات ماهواره‌ای با موارد استفاده[۳] منحصر به فرد، راه را برای همگرایی در شبکه‌های مخابراتی هموار می‌کنند.

در همین راستا اصطلاح شبکه‌های غیرزمینی[۴] در سال‌های اخیر و در فرآیندهای استانداردسازی 5G به طور گسترده استفاده شده است. این شبکه‌ها شامل سامانه‌های ارتفاع پایین[۵]، پهپادها[۶]، سامانه‌های ارتفاع بالا[۷] و ماهواره‌ها در مدارات مختلف می‌باشند که یک ساختار چند لایه از معماری شبکه‌های غیرزمینی را تشکیل می‌دهد. شکل ۱-۴- این ساختار را نشان می‌دهد. هدف اصلی این طرح ادغام و یکپارچه‌سازی این سیستم‌ها در مخابرات سلولی (نظیر استاندارد 5G) با در نظر گرفتن ویژگی آن‌ها از نظر معماری و عملکرد است. خصوصیات منحصر به فرد شبکه‌های غیرزمینی مانند پوشش گسترده، قابلیت‌های چندپخشی، و مکمل بودن آن‌ها با زیرساخت‌های زمینی محلی و بعلاوه حضور ذینفعان مختلف در این شبکه‌ها موجب شده که به آن‌ها به عنوان یک بخش غیرقابل حذف در شبکه‌های تجمیع شده نگاه شود. در ادامه این فصل و در بخش موارد استفاده به برخی از

---

1 Convergence
2 Handover
3 Use case
4 Non Terrestrial Network (NTN)
5 Low Altitude Platform Station (LAPS)
6 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)
7 High-altitude platform station (HAPs)

کاربردهای منحصر به فرد ماهواره در حوزه‌های مختلف پرداخته خواهد شد که تا حدودی اهمیت شبکه‌های غیرزمینی در استانداردهای آتی مخابرات سلولی را معین می‌نماید.



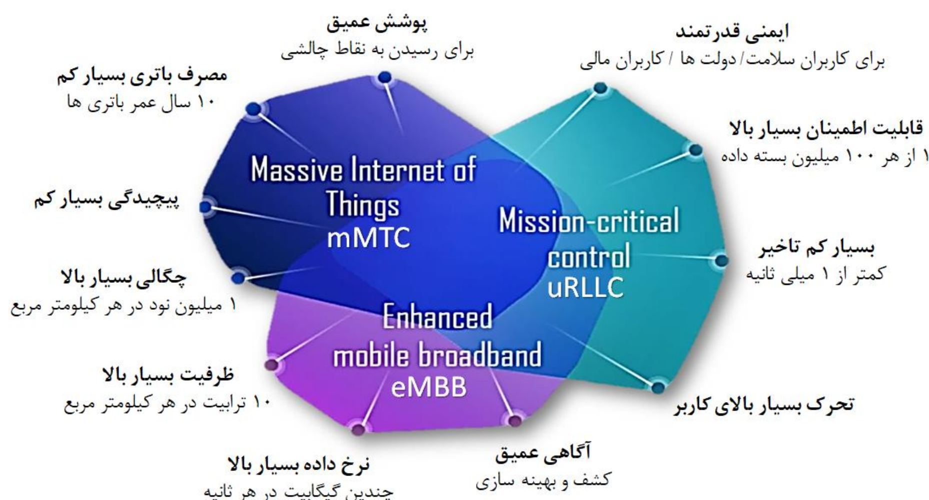
شکل ۱-۴- ساختار چند لایه پوششی با کمک شبکه‌های غیرزمینی در سال‌های آتی[1]

۱-۳. موارد استفاده ماهواره در شبکه‌های ارتباطی آتی

در کنار تحول در فن‌آوری‌های مرتبط با ماهواره، موارد استفاده از ماهواره در سیستم‌های مخابراتی نیز تغییراتی داشته است. به نظر می‌رسد، با ظهور فن‌آوری‌های مخابراتی جدید موارد استفاده‌های جدیدتری برای ماهواره پدید خواهد آمد. هدف این بخش بررسی مهم‌ترین کاربردها و موارد استفاده ارتباطات ماهواره‌ای در عصر فضایی جدید می‌باشد.

۱-۳-۱. شبکه 5G و ایستگاه‌های غیرزمینی (NTN)

بسیاری از موضوعاتی که در زمینه شبکه 5G مطرح شده، فراتر از تکامل استانداردهای قبلی مخابرات سلولی می‌باشد. البته ممکن است که برخی از این برنامه‌ها در 5G عملیاتی شوند و برخی دیگر به استانداردهای نسل‌های بالاتر مخابرات سلولی موکول شود. در حال حاضر سه سناریو عمده پیاده‌سازی 5G توسط ITU-R برای استاندارد IMT 2020 تعریف شده است: ۱- پهن‌باند متحرک ارتقاءیافته eMBB[1] ۲- ارتباطات از نوع ماشینی گسترده mMTC[2] ۳- ارتباطات کم‌تاخیر و فوق‌العاده قابل اعتماد uRLLC[3]. این موارد می‌تواند طیف گسترده‌ای از کاربردهای تجاری نسل آینده مخابراتی را مانند اتومبیل‌های خودران، جراحی از راه دور و اینترنت اشیا را تحت تاثیر قرار دهد. شکل ۱-۵- خصوصیات 5G را به صورت مختصر در هر سناریو نشان می‌دهد.



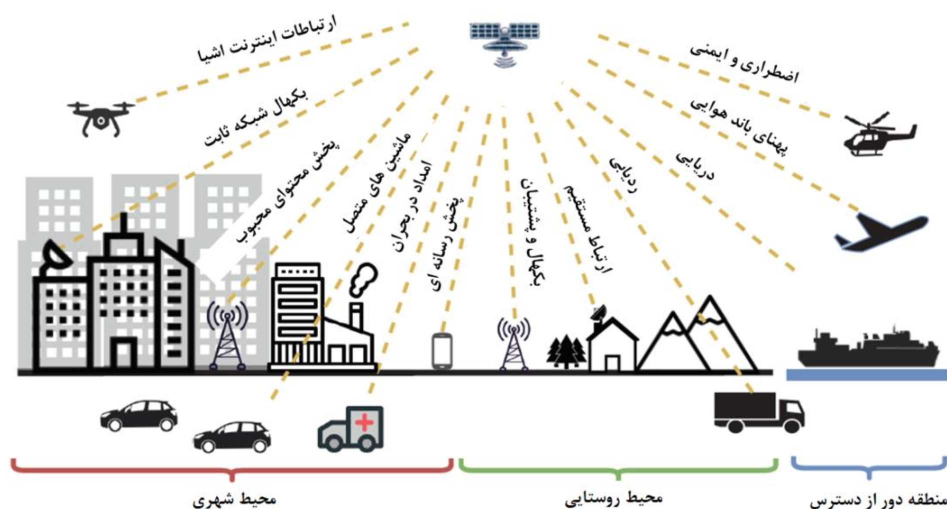
شکل ۱-۵- شبکه 5G و مشخصات سه سناریوی پیاده‌سازی آن براساس استاندارد IMT 2020

نقشی که ماهواره‌ها می‌توانند در اکوسیستم 5G داشته باشند، بسیار مهم است. 3GPP[4] به عنوان یکی از مهم‌ترین نهادهای استانداردساز 5G، در مارس ۲۰۱۷ فعالیت‌هایی برای

1 Enhanced Mobile Broadband
2 Massive Machine Type communication
3 Ultra Reliable low Latency Communication
4 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

بررسی نقش ماهواره‌ها در 5G آغاز کرد. پس از چند سال مطالعه در این زمینه در سال ۲۰۲۰ تصویب شد که شبکه‌های غیرزمینی (NTN) یکی از ویژگی‌های اصلی و جدید 5G خواهد بود[3]. در رابطه با شبکه‌های غیرزمینی توضیح مختصری در بخش ۱-۲-۶- داده و عنوان شد که این شبکه‌ها شامل پهپادها، سامانه‌های ارتفاع پایین، سامانه‌های ارتفاع بالا و ماهواره‌ها در مدارات مختلف هستند. سه گروه اصلی برای موارد استفاده NTN در 5G توسط 3GPP تعریف شده است[4]. اولا NTNها می‌توانند به طور قابل توجهی قابلیت اطمینان[1] شبکه 5G را افزایش دهند. در حقیقت سامانه‌های غیرزمینی با تداوم خدمات، در مواردی که سرویس شبکه توسط یک شبکه یا ترکیبی از شبکه‌های زمینی قابل ارایه نباشد، قابلیت اطمینان کلی شبکه را افزایش می‌دهند. این امر به ویژه در مورد سیستم‌های متحرک (به عنوان مثال ماشین، قطار، هواپیما و غیره) مورد توجه است. ثانیا، NTNها می‌توانند فراگیر بودنِ[2] خدمات 5G را در مناطق غیرقابل سرویس‌دهی (به عنوان مثال کویر، اقیانوس‌ها، جنگل و غیره)، یا مناطق کم برخوردار (به عنوان مثال مناطق دورافتاده) و یا جایی که شبکه زمینی وجود ندارد یا ایجاد آن مقرون به صرفه نیست یا غیرعملی است، تضمین کنند. در نهایت اینکه NTNها به دلیل کارآیی ماهواره در پخش چندگانه یا پخش در یک منطقه بسیار گسترده می‌توانند "مقیاس‌پذیری[3] سرویس 5G" را تحقق بخشند. این مسئله می‌تواند برای کاهش بار شبکه زمینی، با پخش محتوای محبوب در لبه شبکه یا انتقال مستقیم به کاربران، بسیار مفید باشد. در شکل ۱-۶- لیست کاملی از نقش ماهواره در شبکه 5G ارایه شده است. در ادامه به صورت موردی در هر سناریوی 5G نقش ماهواره را بررسی خواهیم نمود.

1 Reliability
2 Ubiquity
3 Scalability



شکل ۱-۶- نقش ماهواره در اکوسیستم 5G [1]

۱-۳-۲. نقش ماهواره در سناریوی eMBB

به طور خاص ماهواره می‌تواند چهار کاربرد مطابق شکل ۱-۷- را در سناریوی ارتباطات پهن‌باند در 5G داشته باشد.



شکل ۱-۷- موارد استفاده ماهواره در شبکه‌های ارتباطی 5G سناریو eMBB [5]

۱- شبکه ترانک[1]: این سناریو به ترانکینگ با سرعت بالا ویدیو، اینترنت اشیا (IOT) و سایر داده‌ها به یک سایت مرکزی با توزیع عمدتا زمینی، می‌پردازد. در حقیقت در این کاربرد، یک لینک ماهواره‌ای بسیار پرسرعت (تا سرعت Gbps) از ماهواره‌های ژئو یا غیرژئو اتصال

1 Truncking

زمینی موجود را در هر جا که ممکن باشد، تکمیل خواهد کرد. این سناریو مربوط به مناطقی است که هیچ اتصال زمینی وجود ندارد یا اتصالات زمینی محدود هستند. باید دقت نمود که در این حالت لینک‌های کاربری ماهواره دو طرفه می‌باشند، زیرا فقط ارتباطات پهن‌باند در این دسته‌بندی پشتیبانی می‌شوند[5].

۲- شبکه بکهال: ماهواره به عنوان بکهالِ پرسرعت در مخابرات سلولی با امکان پخش محتوای یکسان (به عنوان مثال ویدیو، تلویزیون HD / UHD علاوه بر سایر داده‌های غیرویدیویی) در یک منطقه پوشش وسیع در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین ماهواره امکان پشتیبانی ترافیک اینترنت اشیا از چندین سایت را نیز دارا می‌باشد. یک لینک ماهواره‌ای بین ماهواره‌های ژئو یا غیرژئو با سرعت بسیار بالا (تا سرعت Gbps) و دکل‌های سلولی محلی، ارتباطات زمینی موجود را در هرجا که ممکن باشد، تکمیل خواهد کرد. در این حالت، لینک‌های کاربری ماهواره می‌توانند بصورت دو طرفه و یا یک طرفه بسته به نوع کاربرد باشند. زیرا هم ارتباط پهن‌باند و هم ارتباطات پخشی یک طرفه در این دسته‌بندی پشتیبانی می‌شوند[5].

۳-ترمینال‌های متحرک[1]: در این حالت اتصال بکهال سرعت بالا برای ترمینال‌های متحرک در هواپیماها، وسایل نقلیه، قطارها و کشتی‌ها در یک منطقه وسیع پوشش در نظر گرفته شده است. هم‌چنین امکان بکهال ترافیک IoT از سامانه‌های متحرک فراهم می‌باشد. یک لینک ماهواره‌ای بین ماهواره‌های ژئو یا غیرژئو با سرعت بسیار بالا (تا سرعت Gbps) و هواپیماها، وسایل نقلیه، قطارها و کشتی‌ها، ارتباطات زمینی موجود را در هر جا که ممکن باشد، تکمیل خواهد کرد. در این حالت، بسته به نیاز، لینک‌های کاربری ماهواره می‌توانند بصورت دو طرفه و یا یک طرفه باشد. زیرا هم ارتباط پهن‌باند و هم ارتباط پخشی در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند[5].

۴-کاربردهای تلفیقی: این سناریو مربوط به ارتباط پرسرعت شامل تلفیقی از بکهال به خانه‌ها و مراکز به همراه پخش چندگانه همان محتوا در یک منطقه تحت پوشش بزرگ (ویدیو، تلویزیون HD/UHD و سایر داده‌های غیر ویدیویی) می‌باشد. این قابلیت همچنین

1 Earth station in motion(ESIM)

امکان اتصال پهن‌باند را برای داده‌های IoT فراهم می‌آورد. یک لینک ماهواره‌ای بین ماهواره‌های ژئو یا غیرژئو با سرعت بسیار بالا (تا سرعت Gbps) و خانه‌ها/ محل‌های کار، ارتباطات زمینی موجود را در هر جا که ممکن باشد، تکمیل خواهد کرد. تلویزیون ماهواره‌ای، مستقیم به خانه (DTH) که در شبکه IP خانگی یا اداری یکپارچه شده است، این مورد استفاده را تکمیل می‌کند. در این سناریو لینک ماهواره‌ای لینک زمینی موجود را تکمیل می‌کند. در این حالت، بسته به نوع لینک‌های کاربری ماهواره می‌توانند بصورت دو طرفه و یا یک طرفه، باشند[5].

۱-۳-۳. نقش ماهواره در سناریوی mMTC

ارتباط انبوه ماشینی(mMTC) که با عنوان اینترنت اشیا[1] (IoT) نیز شناخته می‌شود، شامل پیچیدگی کم و دستگاه‌های بسیار ارزان (حسگرها/محرک‌ها) با توانایی تولید و تبادل اطلاعات می‌باشد. حتی اگر این وسایل از لحاظ ابعادی کوچک باشند، ترافیکی که توسط دستگاه‌های اینترنت اشیا ایجاد می‌شود، تأثیر قابل توجهی در افزایش بار شبکه خواهد داشت. لذا ماهواره‌ها در این سناریو می‌توانند به کاهش بار شبکه زمینی ناشی از اینترنت اشیا از طریق شبکه بکهال کمک کنند یا در مواردی که نمی‌توان به شبکه زمینی دسترسی پیدا کرد، تداوم خدمات را فراهم می‌کند.

به طور طبیعی، ممکن است تصور شود که چنین دستگاه‌های کم هزینه و کم مصرف به دلیل فاصله زیاد قادر به ارتباط با ماهواره نیستند. با این وجود، برخی از بررسی‌ها نشان می‌دهد، با کاهش قابل توجه نرخ داده، امکان برقراری ارتباط ما بین این ادوات اینترنت اشیا با ماهواره‌های مدار پایین (لئو یا مئو) فراهم است[6]. بسته به نوع کاربردی که ماهواره پشتیبانی می‌کند و همچنین نحوه توزیع حسگرهای اینترنت اشیا بر روی زمین، موارد استفاده ماهواره در شبکه mMTC را می‌توان به دو زیرگروه تقسیم‌بندی کرد.

۱- خدمات اینترنت اشیا در محیط گسترده: این مورد استفاده مربوط به برنامه‌های مبتنی بر گروهی از دستگاه‌های اینترنت اشیا توزیع شده در یک منطقه وسیع و گزارش اطلاعات آن‌ها به یک سرور مرکزی یا کنترل شده است. برنامه‌های معمول که ماهواره می‌تواند در آن نقش

1 Internet of Things

داشته باشد عبارتند از: نظارت بر زیرساخت‌های نفت/ گاز (به عنوان مثال وضعیت خط لوله انتقال نفت و گاز) مدیریت ناوگان حمل و نقل، ردیابی ناوگان، هشدارهای جاده‌ای، کشاورزی، مدیریت دام و غیره

۲- خدمات محلی اینترنت اشیا: دستگاه‌های اینترنت اشیاء در این کاربرد برای جمع‌آوری داده‌های محلی و گزارش به یک سرور مرکزی استفاده می‌شوند. زیرسیستم شبکه هوشمند[1] (اندازه‌گیری پیشرفته) یا سرویس‌دهی به سکوهای متحرک (مانند کانتینر روی کشتی، کامیون یا قطار) از جمله موارد استفاده این سناریو هستند.

۱-۳-۴. نقش ماهواره در سناریوی uRLLC

در این سناریو 5G، میزان در دسترس بودن باید ۹۹,۹۹٪ باشد. همچنین تأخیر در ارتباط کمتر از ۱ میلی‌ثانیه و قابلیت اطمینان از دست دادن، ۱ بسته در $۱۰^۵$ بسته است. برخی از مثال‌های کاربری این سناریو شامل رانندگی خودکار، جراحی از راه دور، اتوماسیون کارخانه و غیره است. واضح است که ماهواره، صرف نظر از ارتفاع مدار انتخاب شده، به دلیل افزایش تأخیر در لینک ارتباطی، قادر به پشتیبانی کامل از این گروه خدمات نیست. در حقیقت، الزامات uRLLC حتی برای یک شبکه زمینی به دلیل عدم وجود زیرساخت در مناطق خاص یا ازدحام شبکه در مناطق بسیار شلوغ، می‌تواند کاملاً چالش برانگیز باشد. در این شرایط، یک شبکه ماهواره‌ای - زمینی یکپارچه ممکن است از هر دو زیرساخت زمینی و غیرزمینی در دستیابی به الزامات uRLLC استفاده کند. به عنوان مثال، در سناریوی اتومبیل خودران، داده‌های غیر بلادرنگ[2]، مانند بروزرسانی‌های ترافیک/ نرم‌افزار، می‌توانند از طریق ماهواره با استفاده قابلیت پخش ماهواره در یک منطقه وسیع انجام شوند. این روش می‌تواند به طور قابل توجهی ترافیک احتمالی در شبکه زمینی را کاهش دهد و پهنای باند شبکه زمینی در اختیار سرویس‌های بلادرنگ قرار گیرد. قابل ذکر است، در این گروه خدمات ماهواره‌ها نقش ثانویه / مکمل را بازی می‌کنند.

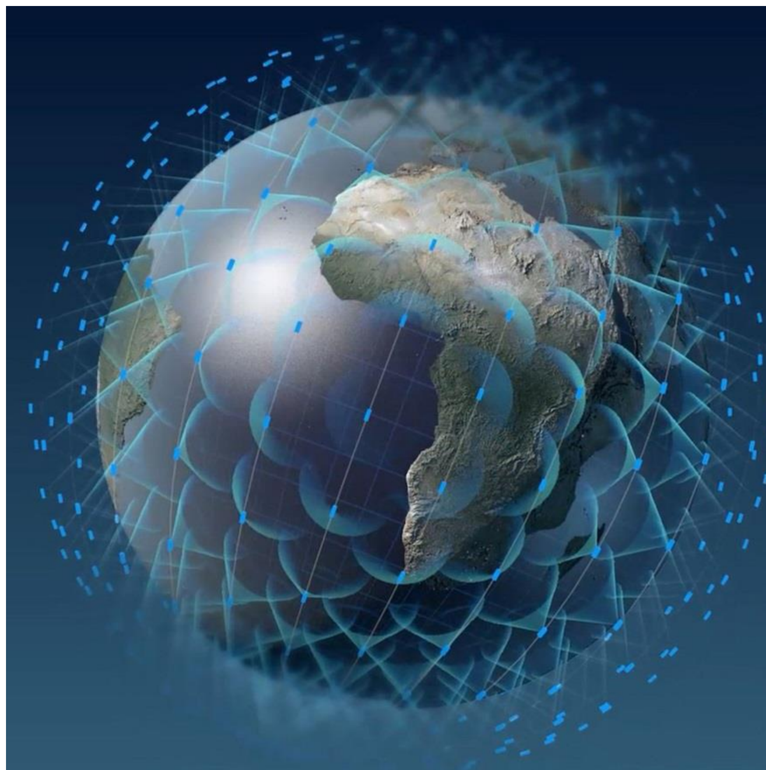
1 Smart Grid
2 Non-realtime

۱-۴. ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای

چنانکه عنوان شد، در عصر فضایی جدید ارسال ماهواره و دسترسی به فضا، به مراتب ساده‌تر از گذشته شده است. بعلاوه در سال‌های اخیر ماهواره در فن‌آوری‌های نوین ارتباطی نقش حیاتی‌تر و پررنگ‌تری پیدا کرده است و بخش مهمی از شبکه‌های همگرای آینده، توسط ماهواره‌ها تکمیل خواهد شد. در این میان ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای با بهره‌گیری از دسترسی آسان به فضا و نقش مهمِ ماهواره در فن‌آوری‌های ارتباطی، تحول عظیمی را در عرصه فضایی آغاز نموده است.

اصطلاح ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای از سال ۲۰۱۵ و با تلاش‌های گرگ وایلر[1]بنیان‌گذار وان‌وب در ادبیات فضایی رایج شد. وی منظومه‌ای با بیش از ۷۰۰ ماهواره را در مدار لئو برای سرویس پهن‌باند پیشنهاد کرد. چنان که عنوان شده است، منظومه‌های ماهواره‌ای از دهه ۹۰ میلادی در بحث‌های فضایی مطرح و استفاده شده است. اما وایلر برای اولین بار قصد ارایه خدمات پهن‌باند نظیر اینترنت را با استفاده از منظومه‌ای با وسعت ۱۰ الی ۲۰ برابر منظومه‌های فعال موجود داشت. ایده او بلافاصله توسط افراد دیگر نظیر ایلان ماسک در شرکت اسپیس‌ایکس، جف بزوس در شرکت آمازون و ده‌ها شرکت استارت‌آپی دیگر در سراسر دنیا دنبال شد. در سال‌های اخیر یک رقابت بین‌المللی برای فن‌آوری ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای برای ارایه سرویس پهن‌باند ایجاد شده است که جزییات آن در فصل دوم به تفصیل بررسی خواهد شد. در ادامه این فصل برخی از مهم‌ترین مشخصه‌های این فن‌آوری نظیر سرعت ارتباطی، کاهش تاخیر، کاربران منظومه و مهم‌ترین سیاست‌گذاران این فن‌آوری بررسی و تلاش خواهد شد که به برخی از سوالات عمومی و مهم در زمینه ابرمنظومه‌ها پاسخ داده شود. شکل ۱-۸- نمایی از یک ابر منظومه ماهواره‌های فرضی در مدار لئو اطراف زمین را نشان می‌دهد.

1 Greg wyler



شکل ۱-۸- نمایی از یک ابرمنظومه ماهواره‌ای فرضی در مدار ارتفاع پایین اطراف زمین[12]

۱-۴-۱. سرعت ارتباطات در ابرمنظومه‌ها

در حال حاضر پهنای باند اکثر منظومه‌های ژئو و منظومه‌های لئو موجود قابل توجه نیست. به طور مثال سیستم Iridum GO که در حال حاضر سرویس ارایه می‌دهد، دارای پهنای باند در حدود 2400 bps است که نیازهای وب‌گردی[1]را نیز به سختی پاسخگو می‌باشد. مودم تالس شرکت ایریدیوم نیز پهنای باندی در حدود 700kbps را ارایه می‌نماید. مودم‌های هیوز[2] نیز حداکثر پهنای باند 464kbps دارند. این مسائل در کنار هزینه‌های بالای خدمات، باعث عدم فراگیری قابل توجه استفاده از این منظومه‌ها شده است و کارکرد آن‌ها را به محیط‌هایی که گزینه زمینی در دسترس نیست، محدود نموده است. اما در طرف مقابل

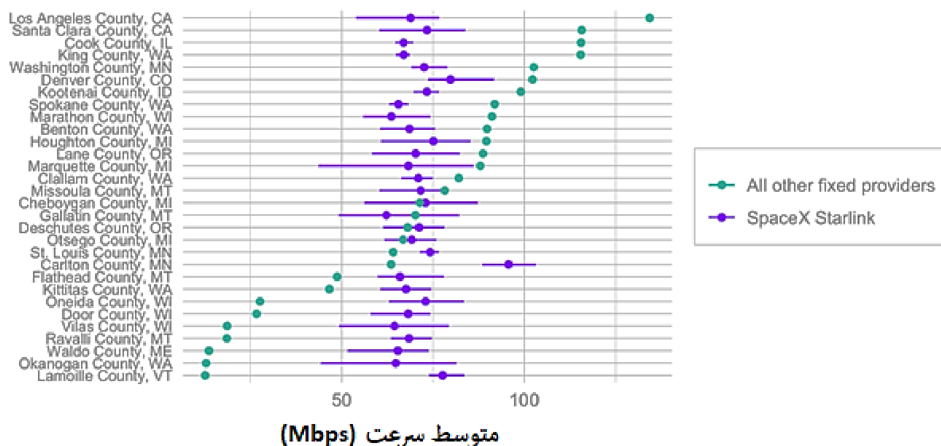
1 Web browsing
2 Hughes

ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای به دنبال ایجاد خدمات با پهنای باند بسیار بالا، با تاخیر کم و قیمت ارزان هستند. ابرمنظومه‌ی وان‌وب پهنای‌باندی در حدود 500 Mbps در اختیار هر کاربر قرار خواهد داد. این پهنای‌باند بالا به علت امکان مالتی‌پلکس پرتوها[۱] بین ماهواره‌ها فراهم می‌شود. در حقیقت با زاویه ورود مختلف (مالتی‌پلکس پرتوها)، کاربران یک ناحیه از چندین ماهواره که هر کدام چندین کانال فرکانسی و چندین ترانسپوندر دارند، به طور همزمان سرویس خواهند گرفت. در تست اولیه وان‌وب، ارسال و دریافت ویدیو همزمان با کیفیت HD[۲] در سئول کره جنوبی با سرعت 400 Mbps صورت پذیرفته است. ویدیو کامل این تست در سایت Youtube قرار دارد[7].

ابرمنظومه اسپیس‌ایکس نیز در طرح نهایی خود پهنای‌باندی در حدود 1Gbps را در اختیار کاربر نهایی قرار می‌دهد. کاربران این سامانه در سال ۲۰۲۰ پهنای باند ۱۰۰ مگابیتی را در طرح بتای اولیه دریافت نمودند. در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته این پهنای باند نسبت به سامانه‌های زمینی چندان قابل توجه نیست. به طور مثال کره جنوبی تا سال ۲۰۲۲ در طرح FTTP[۳] پهنای باندی در حدود 10Gbps را در دسترس ۵۰ درصد کاربران خانگی قرار خواهد داد[8].

با این وجود، دسترسی پهن‌باند با سرعت مناسب در نقاط دورافتاده، حتی در کشورهای بسیار توسعه‌یافته نیز به سختی ممکن است. به عنوان مثال یک مطالعه انجام شده در دسامبر ۲۰۲۰ نشان می‌دهد، نسخه بتای اسپیس‌ایکس که سرعت متوسط 80 Mbps را در سراسر آمریکا فراهم کرده است، از سرعت متوسط اینترنت زمینی در بسیاری از نقاط آمریکا بالاتر است[9]. این مسئله در شکل ۱-۹- نشان داده شده است. در این شکل خطوط بنفش رنگ (تیره‌تر) متوسط سرعت منظومه استارلینک در ایالت‌های مختلف آمریکا را نشان می‌دهد.

---
1 Beam multiplexing
2 Real time Video HD
3 Fiber to the premises



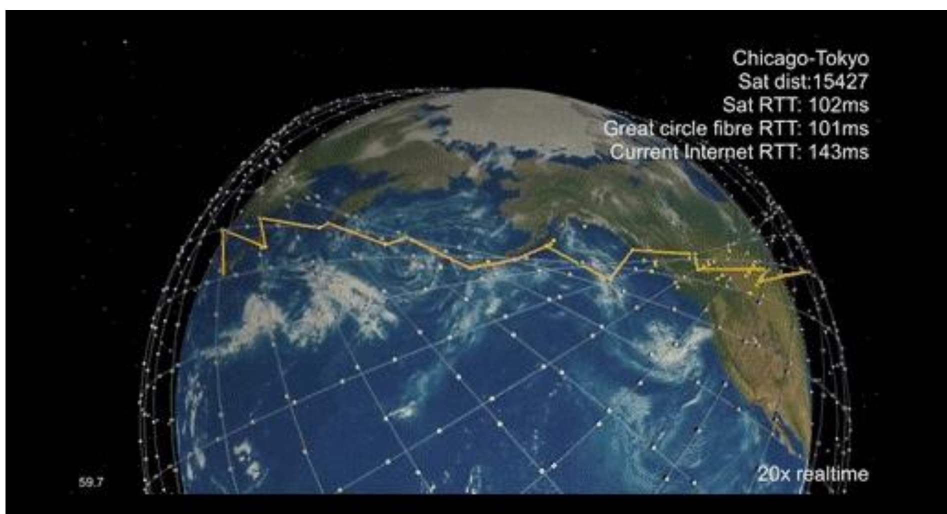
شکل ۱-۹- مقایسه سرعت منظومه بتای اسپیس‌ایکس با سرعت متوسط اینترنت زمینی در نقاط مختلف آمریکا [9]

۱-۴-۲. کاهش تاخیر در ابرمنظومه‌ها

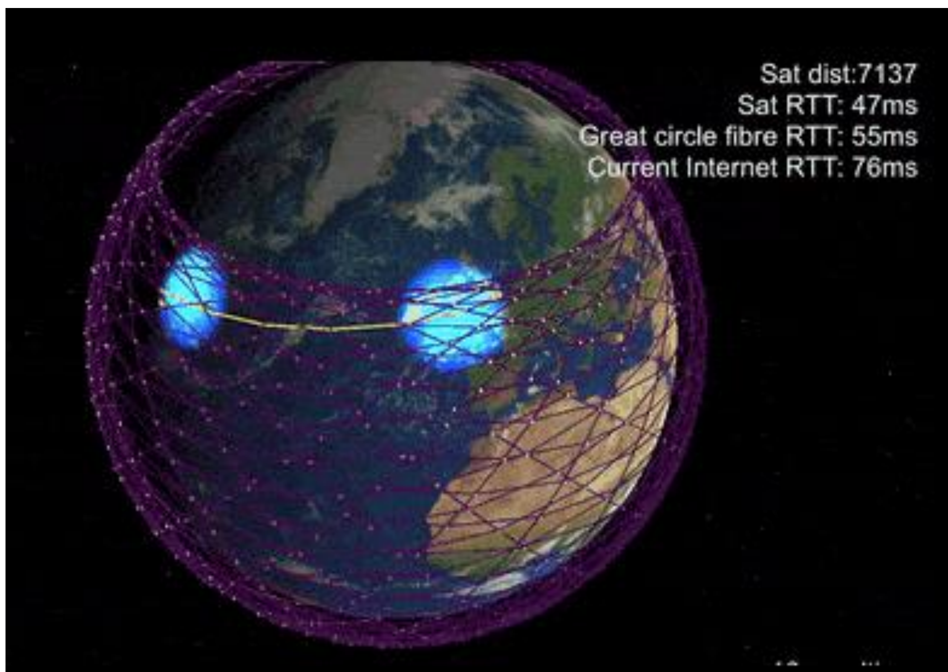
برخی از ابرمنظومه‌های پیشنهادی نظیر منظومه‌ی شرکت اسپیس‌ایکس برای تکمیل ارتباط خود در فضا، دارای یک لینک اپتیکی بین ماهواره‌ای هستند. این لینک اپتیکی یک مزیت بسیار مهم برای منظومه ایجاد می‌نماید و آن کاهش تاخیر در مسیرهای طولانی نسبت به لینک‌های زمینی است.

در منظومه اسپیس‌ایکس هر ماهواره دارای ۵ لینک اپتیکی است. این لینک‌های اپتیکی در محیط خلاء بسته می‌شوند که نسبت به محیط شیشه (فیبر نوری بر روی زمین) دارای سرعت انتشار نور بالاتری هستند، لذا تاخیر مسیر در منظومه اسپیس‌ایکس کاهش خواهد یافت. همچنین باتوجه به انتخاب مسیر کوتاه بین دو نقطه دور در کره زمین امکان کاهش مسافت و کاهش تاخیر بیش از بیش میسر خواهد شد. برخی شبیه‌سازی‌های انجام شده کاهش تاخیر منظومه استارلینک تا ۷۰ درصد نسبت به سیستم زمینی فعلی را نشان می‌دهد. این مزیت یکی از مهم‌ترین نکات سرمایه‌گذاری سنگین اسپیس‌ایکس بر روی منظومه می‌باشد. همانطور که در شکل ۱-۱۰- مشاهده می‌شود، مسیر شیکاگو تا توکیو به فاصله ۱۵۴۲۷ کیلومتر در سیستم اینترنت فعلی دارای ۱۴۳ میلی‌ثانیه تاخیر است. در صورت وجود یک کابل مستقیم و بدون ترافیک در این فاصله این تاخیر به میزان ۱۰۱

میلی‌ثانیه خواهد بود. در صورت استفاده استارلینک از مسیر بسته شده در فضا در شکل ۱-۱۰-، این تاخیر در حدود ۱۰۲ میلی‌ثانیه خواهد بود که کاهش ۵۰ درصد نسبت به شرایط فعلی دارد. در نمونه دیگر در شکل ۱-۱۱- مسیر بین لندن و نیویورک به طول ۷۱۳۷ کیلومتر مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. این مسیر در شرایط فعلی دارای تاخیر ۷۶ میلی‌ثانیه می‌باشد. در صورتی که فیبر ایده‌آل بدون ترافیک و مستقیم بین دو شهر متصل باشد، این تاخیر در حدود ۵۵ میلی‌ثانیه می‌باشد. در حالی که در منظومه استارلینک این تاخیر در حدود ۴۷ میلی‌ثانیه خواهد بود. در مجموع می‌توان گفت، کاهش قابل توجه تاخیر در مسیرهای طولانی در ابرمنظومه‌های یکی از مزایای بسیار مهم این سامانه‌ها می‌باشد.



شکل ۱-۱۰- شبیه‌سازی تاخیر ارتباط شیکاگو - توکیو به مسافت ۱۵۴۲۷ کیلومتر در اینترنت فعلی (۱۴۳ میلی‌ثانیه) و منظومه اسپیس‌ایکس (۱۰۲ میلی‌ثانیه) و در حالت استفاده از فیبر مستقیم و ایده‌ال (۱۰۱ میلی‌ثانیه) [10]



شکل ۱-۱۱- شبیه‌سازی تاخیر ارتباط لندن - نیویورک به مسافت ۷۱۷۳ کیلومتر در اینترنت فعلی (۷۶ میلی‌ثانیه) و منظومه اسپیس‌ایکس (۴۷ میلی‌ثانیه) و در حالت استفاده از فیبر مستقیم و ایده‌ال (۵۵ میلی‌ثانیه) [11]

۱-۴-۳. کاربران ابرمنظومه‌ها

منظومه‌های ماهواره‌ای برای طیف بسیار گسترده‌ای از کاربران طراحی شده‌اند. برخی از کاربران و یا بازار ابرمنظومه‌ها عبارتند از: ارتباطات پهن‌باند برای خانه‌ها و محیط‌های کار کوچک علی‌الخصوص در نقاط دورافتاده، ارتباطات پهن‌باند برای کاربران متحرک در سیستم ریلی و یا هوایی که پوشش زمینی در آنها میسر نیست، ارتباطات پشتیبان (بکهال) برای سامانه‌های سلولی، ارتباطات در محیط‌هایی که راه زمینی برای آن‌ها برقرار نیست مانند سکوهای نفتی و در نهایت برای ارتباط اورژانسی و مواقع بحران. تمام این موارد که در شکل ۱-۱۲- آورده شده است به نوعی کاربران ابرمنظومه‌های آینده هستند.















شکل ۱-۱۲- بازار هدف ابرمنظومه وان‌وب از دید این شرکت در یک نگاه[12]

۱-۴-۴. ظرفیت ترافیک در ابرمنظومه‌ها

همانطور که می‌دانیم، ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای دسترسی پهن‌باند را برای کاربران فراهم می‌آورند اما سوال بسیار مهمی که مطرح است، میزان ظرفیت این منظومه‌هاست. هر چند پاسخ دقیقی در این مرحله نمی‌توان به این سوال داد اما به طور قطع می‌توان گفت که این سامانه‌ها توانایی جایگزین شدن با سامانه‌های زمینی، از حیث ظرفیت ندارند. به طور مثال یک محاسبه تقریبی از ظرفیت پوششی منظومه استارلینک در [13] انجام شده است. طبق فایلینگ‌های اسپیس‌ایکس در کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا (FCC[1])، حدود ۱۲۰۰۰ ماهواره تا سال ۲۰۲۶ در فضا قرار خواهد گرفت و ماهواره‌های این منظومه هر کدام 17-23 Gbps ظرفیت خواهند داشت. لذا ظرفیت کل منظومه استارلینک در فاز نهایی به حدود 240 Tbps خواهد رسید. اگر مساحت آمریکا را ۲ درصد کل دنیا در نظر بگیریم، ظرفیت ماهواره‌های دارای پوشش آمریکا 4.8Tbps خواهد بود[13]. به طور مشابه ایران حدود ۱,۱ درصد مساحت کره زمین را پوشش می‌دهد لذا کل ظرفیت این منظومه برای ایران در حدود 2.6Tbps خواهد بود. براساس استعلام از زیرساخت در سال ۲۰۲۰ کل ظرفیت ترافیک

1 Federal Communication Commission(FCC)

اینترنت بین‌الملل ایران در حدود 4 Tbps می‌باشد. با در نظر گرفتن یک رشد سالانه ثابت ۲۰ درصد تا سال ۲۰۲۶ برای ترافیک مصرفی ایران منظومه استارلینک در نهایت کمتر از ۲۰ درصد ترافیک ایران را می‌تواند پوشش دهد.

۱-۴-۵. امکان ارتباط با گوشی‌های هوشمند

یکی از سوالات بسیار مهم در مورد فن‌آوری ابرمنظومه‌ها، امکان ارتباط مستقیم این فن‌آوری با گوشی‌های هوشمند است. در حال حاضر هیچ کدام از ابرمنظومه‌ها امکان برقراری ارتباط مستقیم با گوشی‌های همراه در نسل‌های 2G، 3G، 4G را ندارند. باند فرکانسی ابرمنظومه‌ها چنانکه در فصل آینده به تفصیل بررسی خواهد شد، باند Ku، Ka و V می‌باشد که توسط گوشی‌های فعلی پشتیبانی نمی‌شود. با این همه تمام ابرمنظومه‌ها نگاهی به ارایه شبکه‌های نوین 5G مبتنی بر موج میلی‌متری در آینده دارند.

در زمان تالیف این کتاب (۲۰۲۰-۲۰۲۱) شرکت استارتاپی UbiquitiLink طرحی را مشتمل بر هزاران ماهواره به منظور پوشش کامل شبکه‌ی سلولی در سراسر دنیا با استفاده از منظومه لئو ارایه نموده است. هریک از این ماهواره‌ها به وزن حدود ۲۵ کیلوگرم به تدریج در مدار لئو قرار می‌گیرند و به طور مستقیم به کاربران شبکه‌ی سلولی در شرایطی که پوشش زمینی وجود ندارد، سرویس ارایه خواهند نمود. در فصل دوم این کتاب به بررسی بیشتر این ابرمنظومه پرداخته خواهد شد[14]. باید دقت نمود، باتوجه به اینکه این شرکت به صورت استارت‌آپی تاسیس شده و نیازمند سرمایه‌گذاری بیرونی است، موفقیت طرح‌های آن در ادامه مسیر قطعی نیست.

۱-۵. بازیگران اصلی در زمینه ابرمنظومه‌ها[۱]

۱-۵-۱. ایالات متحده آمریکا

آمریکا پیشروترین کشور در زمینه به کارگیری منظومه‌ها و همچنین تصویب قوانین و مقررات مربوط به آن‌ها است. چنانکه در فصل آینده بررسی خواهد شد، پیشروترین شرکت

---

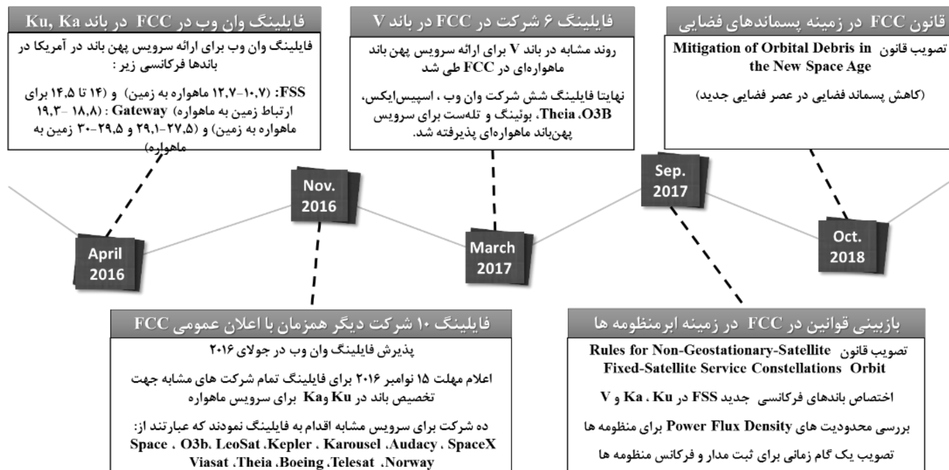
۱ در سال تالیف کتاب (۲۰۲۱)

در زمینه ابرمنظومه‌ها یعنی اسپیس‌ایکس یک شرکت آمریکایی است. شرکت دوم در این زمینه یعنی وان‌وب یک شرکت چند ملیتی است و دفتر مدیریت شرکت در انگلستان می‌باشد اما کارخانه ساخت ماهواره آن توسط ایرباس در فلوریدا قرار دارد. سومین شرکت بزرگ در زمینه ابرمنظومه‌ها نیز شرکت آمریکایی آمازون است.

به موازات حضور شرکت‌های پیشرو در زمینه ابرمنظومه‌ها، ایالات متحده آمریکا در زمینه تصویب قوانین به کارگیری این سامانه‌ها هم پیشرو بوده است. شکل ۱-۱۳- روند زمانی تصویب قوانین رگولاتوری آمریکا در زمینه منظومه‌های ماهواره‌ای را نشان می‌دهد. بعد از فایلینگ وان‌وب در سال ۲۰۱۶، ده شرکت در باند Ku وKa و شش شرکت در باند V درخواست ارایه سرویس اینترنت ماهواره‌ای در قلمرو آمریکا را داشته‌اند. برخی از این شرکت‌ها نظیر بوئینگ، لئوسَت و آودِسی[1] در سال ۲۰۱۹ این پروژه را کنسل کرده‌اند. در سپتامبر ۲۰۱۷ کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا مقرراتی برای ابرمنظومه‌ها و در اکتبر ۲۰۱۸ یک قانون در زمینه پسماندهای فضایی تصویب نموده است. مقررات منظومه‌ها شامل تخصیص فرکانس جدید، بازبینی برخی محدودیت‌های تداخل و در نظرگرفتن یک گام زمان‌بندی برای تکمیل ابرمنظومه‌ها می‌باشد[15].

---

1 Audacy



شکل ۱-۱۳- فرآیند تصویب مقررات ابرمنظومه‌ها در کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا از سال ۲۰۱۶ تا اکتبر ۲۰۱۸[15]

۱-۵-۲. چین

چین کشوری است که در کنار ایالات متحده آمریکا، قصد بکارگیری ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای را دارد. این کشور در حال راه‌اندازی منظومه جهت پوشش نقاط دورافتاده کشور چین و کشورهای در حال توسعه تحت عنوان Hongyun-CASIC [1] است. این منظومه ۱۵۶ ماهواره‌ای احتمالا تا ۲۰۲۲ تکمیل خواهد شد. تاکنون اطلاعات زیادی از این منظومه و روند پیشرفت آن منتشر نشده است اما به نظر می‌رسد، این پروژه برخلاف نمونه‌های آمریکایی، یک پروژه دولتی باشد.

یکی از اظهار نظرهای جالب توجه، در زمینه سرویس‌دهی اینترنت ماهواره‌ای در چین، مربوط به ایلان ماسک موسس اسپیس‌ایکس است. وی معتقد است، احتمالا چین امکان ایجاد دروازه[2]های زمینی را برای اسپیس‌ایکس در چین فراهم می‌کند، اما باتوجه به سطح فیلترینگ شاید به سادگی مجوز برقراری ارتباط با کاربران چینی برای سرویس اینترنت را ندهد. ماسک صراحتا به فن‌آوری چین برای نابود کردن ماهواره‌ها در صورت عدم هماهنگی

1 China Aerospace Science and Industry Corporation
2 Gateway

با این کشور اشاره می‌کند. اشاره ماسک به موشک مبتنی بر انرژی جنبشی FY-1C است که در سال ۲۰۰۷ بر روی یک ماهواره چینی آزمایش شد و باعث افزایش چشمگیری در پسماندهای فضایی شد. ماسک در نهایت در این گفتگو به هماهنگی با کشورهای مقصد برای ارایه سرویس اشاره می‌نماید[16].

چین در سال ۲۰۱۹ قراردادی را با وان‌وب برای ایجاد سه ایستگاه زمینی این ماهواره در سراسر کشورش امضا کرده است. بر طبق گفته مدیر این شرکت بیش از ۴۵ ایستگاه گیت‌وی (دروازه زمینی) در سراسر جهان برای وان‌وب ایجاد خواهد شد. مدیر شرکت همچنین از مذاکره با China Telecom برای همکاری خبر داده است[17]. در مجموع رگولاتورهای کشورهای مختلف، دید مثبت‌تری به وان‌وب نسبت به اسپیس‌ایکس وجود دارد. در حقیقت در طراحی وان‌وب، عامدانه لینک بین ماهواره‌ای حذف شده تا کشور استفاده‌کننده کنترل بیشتری بر روی ترافیک ارتباطی خود داشته باشد[18] .

۱-۵-۳. اتحادیه اروپا

شرکت وان‌وب با داشتن سهامدارانی از ژاپن، انگلستان، فرانسه و آمریکا یک شرکت چند ملیتی محسوب می‌شود (سال۲۰۲۰-۲۰۲۱). با این وجود عمده سهامداران این شرکت اروپایی و دفتر مدیریت شرکت نیز در انگلستان واقع شده است. این شرکت مهم‌ترین و پیشروترین رقیب اسپیس‌ایکس در حوزه ابرمنظومه‌ها می‌باشد. اتحادیه اروپا به جز وان‌وب بررسی‌هایی را برای در اختیار داشتن یک ابرمنظومه مشابه استارلینک شروع کرده است ولی تاکنون اقدام عملی در این راستا انجام نداده است[19].

۱-۵-۴. روسیه

باوجود اینکه روسیه نیز در برخی اخبار، اقدام برای ساخت یک ابرمنظومه را با ۲۸۸ ماهواره را برای خدمت پهن‌باند در نظر گرفته است ولیکن اطلاعات کاملی از این پروژه و روند آن تاکنون (سال ۲۰۲۱) منتشر نشده است[20]. اما در سوی دیگر روسیه با موشک‌های سایوز خود در قرار دادن ماهواره‌های وان‌وب در فضا نقش فعالی را دارد.

با این وجود روسیه در سال ۲۰۱۹ قانونی را وضع کرده که براساس آن تمام ترافیک ماهواره‌ای روسیه (اعم از تلفن و اینترنت) باید از طریق ایستگاه‌های زمینی واقع در کشور

روسیه منتقل شود. بر اساس نظر وزارت ارتباطات روسیه استفاده کنترل نشده از سیستم‌های ارتباطی ماهواره‌های خارجی و دسترسی به اینترنت از طریق ارایه‌دهنده خدمات خارجی، تهدیدی برای امنیت ملی این کشور ایجاد می‌کنند. قطعنامه جدید دولت به این معنی است که شرکت‌های ماهواره‌ای خارجی نیاز به دریافت مجوز از خدمات امنیت فدرال[۱] (FSB)، خدمات محافظتی فدرال و وزارت دفاع دارد که این فرآیند حداقل یکسال زمان خواهد برد[21].

پیش از این قطعنامه خدمات امنیت فدرال روسیه هرگونه همکاری با وان‌وب را به علت جاسوسی دانستن سرویس این اپراتور رد کرد. این درحالی است که در سال ۲۰۱۵ قرارداد سرمایه‌گذاری مشترک ما بین وان‌وب و اپراتور ماهواره‌ای روسیه Gonets از زیرمجموعه‌های سازمان فضایی فدرال روسیه (Roscosmos) به ارزش یک میلیارد دلار امضا شده بود. در این قرارداد وان‌وب پیشنهاد دسترسی به اینترنت در نقاط دورافتاده روسیه را به این کشور داده بود. این مسائل می‌تواند این سرمایه‌گذاری مشترک را تحت تاثیر قرار دهد[22].

ولادیمر سدونیکوف مقام رسمی FSB تنها راه برای وان‌وب را محدود کردن خدمات در روسیه دانسته است. این مقام رسمی از نفوذ اینترنت خارجی در برخی نقاط کشورش ابراز نگرانی کرده است و توضیح داده روسیه با همکاری برخی کشورها نظیر چین و هند سرویس مشابهی را برای پوشش‌دهی مناطق دورافتاده ایجاد خواهد نمود. همچنین درخواست وان‌وب برای دریافت طیف مشخص از فرکانس در قلمرو روسیه توسط کمیسیون دولتی روسیه برای فرکانس‌های رادیویی SCRF[۲] در سال ۲۰۱۹ رد شد[23].

۱-۶. جمع‌بندی

در این فصل به بررسی عصر فضایی جدید پرداخته شد. بر طبق بررسی‌های انجام شده در سال‌های اخیر، هم هزینه پرتاب ماهواره‌ها و هم ابعاد ماهواره‌ها به شدت کاهش یافته است. این مسئله موجب دسترسی آسان‌تر به فضا شده است. به موازات این مسئله حضور شرکت‌های خصوصی در عرصه پرتاب و ساخت ماهواره، عصر فضایی جدید را رقم زده است.

1 Federal Security Service
2 Russian State Commission for Radio Frequencies (SCRF)

در عصر فضایی جدید نقش ماهواره به عنوان یک فن‌آوری مهم مخابراتی در کنار سایر فن‌آوری‌های مخابراتی، بسیار پررنگ خواهد بود و در کاربردهایی نظیر ایجاد بستر ارتباطی برای نقاط دورافتاده، پشتیبانی از سامانه‌های زمینی، ایجاد بستر ارتباطی برای کاربران متحرک، ماهواره نقش اساسی ایفا خواهد کرد. همچنین با همگرا شدن تمامی سامانه‌های مخابراتی و ماهواره‌ها، کلیه ایستگاه‌های غیرزمینی هم بخشی از یک سامانه یکپارچه و جامع مخابراتی در آینده خواهد بود.

چنین فضایی موجب ایجاد فن‌آوری ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای شده است که در آن تعداد ماهواره‌های یک منظومه ده‌ها برابر منظومه‌های فعلی خواهد بود و این سامانه‌ها عمدتا به ارایه سرویس پهن‌باند برای کاربردهای عنوان شده خواهند پرداخت. لذا در بخش دوم این فصل برخی از نکات عمومی در زمینه ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای را مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنانکه عنوان شد این سامانه‌ها از لحاظ پهنای باند قابل مقایسه با منظومه‌های قدیمی نیستند و پهنای باندهای بسیار بالا در حد سامانه‌های زمینی ارایه خواهند کرد. همچنین ابرمنظومه‌ها عمدتا در ارتباطات بلادرنگ تاخیر بسیار کمتری را در مسیرهای طولانی نسبت به سامانه‌های زمینی ایجاد خواهند کرد. با این وجود این سامانه‌ها توانایی ایجاد ظرفیت‌های بسیار بالا را به خصوص در مناطق شهری ندارند و پیش‌بینی می‌شود در بهترین حالت در کشورهای در حال توسعه نهایتا ۲۰ درصد ترافیک ارتباطی توسط این سامانه‌ها قابل پوشش باشد. در نهایت کشورهای پیشرو در زمینه ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای نظیر ایالات متحده آمریکا، اتحادیه اروپا، چین و روسیه معرفی شدند. این فصل با این مقدمات دورنمای ابتدایی از فن‌آوری ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای را ترسیم نمود. در فصل آینده به تفصیل آخرین دستاوردهای شرکت‌های خصوصی در زمینه ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای بررسی خواهد شد.

مراجع

[1] O. Kodheli et al., "Satellite communications in the new space era: A Survey and Future Challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 23, no. 1, pp. 70-109, Firstquarter 2021,

[2] "Lunch Cost to Low Earth Orbit, 1980-2100," Futuretimeline, 1 September 2018, URL: https://www.futuretimeline.net/data-trends/6.htm

[3] 3GPP, “Technical specification group radio access network; solutions for nr to support non-terrestrial networks; (release 16),” 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Report (TR) 38.821, 09-2019, version 0.9.0.

[4] 3GPP, “Technical specification group services and system aspects; study on using satellite access in 5g; (release 16),” 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Report (TR) 38.822, 06-2018, version 16.0.0.

[5] K. Liolis, A. Geurtz, R. Sperber et al., “Use cases and scenarios of 5G integrated satellite-terrestrial networks for enhanced mobile broadband: The SaT5G approach,” International Journal of Satellite Communications and Networking, vol. 37, no. 2, pp. 91–112, 2019.

[6] O. Kodheli, N. Maturo, S. Andrenacci, S. Chatzinotas, and F. Zimmer, “Link budget analysis for satellite-based narrowband IoT systems,” International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless, pp. 259-271. Springer, Cham, 2019., pp. 259–271.

[7] Oneweb, "Onewbe’s Satellites Confirm Real-Time HD Streaming from Space,"Youtueb,16 July 2019, URL: https://www.youtube.com/watch?v=huNqm2F5jCQ

[8] OECD, “The road to 5G network, experience to data and future developments” OECD Publishing, July 2019.

[9] Sascha Segan, "Exclusive: Here's Where Americans Are Using Starlink's Satellite Internet Servic," PCMag, 26 February 2021, URL: https://www.pcmag.com/news/exclusive-heres-where-americans-are-using_starlinks satellite-internet

[10] Larry Press, " Starlink Simulation Shows Low Latency Without Inter-Satellite Laser," CircleID, 31 December 2019, URL: https://www.circleid.com/posts/20191230_ starlink_ simulation_low_latency_without_intersatellite_laser_links/

[11] Hirsh Chitkara, "SpaceX could miss Elon Musk’s goal of launching its satellite broadband service in 2020,"Insider, 24 October 2019, URL: https://www.businessinsider.com/spacex-could-miss-elon-musk-goal-of-launching-starlink-2019-10

[12] Tony Azzarelli, “OneWeb Global Access,” published by Oneweb, 2016.

[13] Jed Pressgrove, "Experts: Closing the Digital Divide Will Take More than Satellite," Government Technology, 8 January 2021, URL: https://www.govtech.com/network/ experts-closing-the-digital-divide-will-take-more-than-satellites.html

[14] Jason Rainbow ,"Lynk books SpaceX flight for direct-to-cellphone satellites," Spacenews, 19 July 2021, URL: https://spacenews.com/lynk-books-spacex-flight-for-direct-to-cellphone-satellites/

[15] FCC,"Updating Rules for Non-Geostationary-Satellite Orbit Fixed-Satellite Service Constellations," FCC-CIRC1709-04, September 2017.

[16] Dave Mosher "Elon Musk's plan to blanket earth in high-speed internet may face a big threat: china,"Insider, 22 November 2016, URL: https://www.businessinsider.com.au/spacex-internet-satellite-constellation-china threat-2016-11

[17] Jing Shuiyu, "Oneweb plans 3 satellite ground stations in china," Chiandaily, 28 October 2019, URL: https://www.chinadaily.com.cn/a/201911/28/ WS5ddf8fb2a310cf3e3557ab4f. html

[18] Jonathan O 'Callaghan, "The Risky Rush for Mega Constellation," Scientific American, 31 October 2019, URL: https://www.scientificamerican.com/article/the-risky-rushfor- mega-constellations

[19] Jonathan Amos, "EU must 'move at speed' on space broadband network," BBCNews, 12 January 2021, URL: https://www.bbc.com/news/ science-environment-5564044

[20] Chris Forrester, "Russia Wants 288 satellite mega-constellation"Advanced Television, 25 May 2018, , URL: https://advanced-television.com/2018/05/25/russia-wants-288-satellite-mega-constellation/

[21] "Changes in the procedure for using foreign satellite," URL: http://government.ru/docs/35851/

[22] "Russia's government band the use of satellite internet without ground stations," RBC, 26 February 2019, URL: https://meduza.io/en/news/2019/02/26/russia-s-government-bans-the-use-of-foreign-satellite-internet-without-ground-st

[23] Sergiu Gatlan, "Russia Bans connection to Oneweb global internet satellites," Bleeopingconputer, 30 July 2019, URL: https://www.bleepingcomputer.com/news /technology/russia-bans-connection-to-oneweb-global-internet-satellites/

فصل دوم: شرکت‌های فعال در زمینه ابرمنظومه‌ها

۲-۱. مقدمه

چنانکه در فصل گذشته عنوان شد، به طور سنتی ماهواره‌های مدار ژئوسنکرون ارتباطات ماهواره‌ای را در مناطق وسیع برقرار می‌نمایند. انتقال اطلاعات در این ماهواره‌ها با نرخ داده پایین و تاخیر بالا همراه است. با این وجود در مناطقی که دسترسی به زیرساخت ارتباطی، از لحاظ کیفیت و قیمت، غیرعملیاتی باشد، این نوع ارتباط قابل استفاده است. در سال‌های اخیر، ظهور ماهواره‌های ژئو پرظرفیت، تا حدودی مشکل ظرفیت و سرعت ارتباطی را برطرف نموده است اما همچنان به خاطر تاخیر ذاتی لینک‌های ماهواره‌ای در مدار ژئو، در کاربری‌های حساس به تاخیر قابل استفاده نیستند. ابرمنظومه‌های مخابراتی آخرین دستاورد عصر فضایی جدید است. این فن‌آوری به علت تعداد ماهواره‌های بالا در مدار لئو امکان ارایه خدمات با پهنای باند بالا، تاخیر کم و قابل رقابت با سایر بسترهای ارتباطی زمینی را فراهم می‌نماید.

باید توجه نمود که در سال ۲۰۲۰ بر طبق آمار یونسکو حدود ۱۳ درصد جمعیت در کشورهای توسعه یافته و بیش از ۵۳ درصد در کشورهای در حال توسعه به اینترنت دسترسی ندارند[1]. ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای با توجه به ماهیتشان می‌توانند ارتباطات پهن‌باند را برای کاربران مختلف در سراسر دنیا فراهم نمایند و به نظر می‌رسد، بازار بسیار مناسبی در کشورهای در حال توسعه در آینده نزدیک خواهند داشت. ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای در مدار پایین قادر خواهند بود که به جمعیت‌های ساکن در عرض جغرافیایی بالا

مانند آلاسکا، شمال کانادا، اسکاندیناوی و روسیه، که فاقد زیرساخت‌های زمینی هستند و همچنین خارج ناحیه پوشش ماهواره‌های ژئو هستند، ارایه خدمات نمایند که تحول بسیار مهمی خواهد بود.

در این فصل ابتدا به بررسی منظومه‌های ماهواره سنتی و روش‌های ارتباطی این منظومه‌ها پرداخته خواهد شد. در ادامه فهرست کاملی از ابرمنظومه‌های سال‌های آتی (بعد از سال ۲۰۲۱) بررسی خواهد شد. از میان شرکت‌های ارایه‌شده دو شرکت اسپیس‌ایکس با منظومه استارلینک و شرکت World Vu با منظومه وان‌وب پیشرفت چشمگیری در توسعه فناوری ابرمنظومه‌ها داشته‌اند. همچنین شرکت کانادایی تله‌سَت و شرکت آمریکایی آمازون نیز به این رقابت پیوسته‌اند. دستاوردهای فنی این چهار شرکت براساس تحقیقات گسترده جمع‌آوری شده است که در این فصل ارایه خواهد شد. علاوه بر این سه شرکت اصلی ده‌ها شرکت استارتاپی با ایده‌های مختلف برنامه‌ریزی برای استفاده از ابرمنظومه‌های مکعبی یا ماهواره‌های کوچک در فضا را انجام داده‌اند که در فصل سوم مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-۲. منظومه‌های ماهواره‌ای قبل از عصر فضایی جدید

چنانکه در فصل اول عنوان شد، منظومه ماهواره‌ای به گروهی از ماهواره‌ها گفته می‌شود که با یکدیگر در ارتباط هستند و سطح عمده‌ای از زمین را پوشش می‌دهند. این ساختارها از حدود ۳۰ سال پیش مطرح شده‌اند و در حال حاضر بیش از ۳۰ منظومه ماهواره‌ای در دنیا وجود دارد. منظومه‌های ماهواره‌ای را می‌توان از دو نگاه کاربرد و نوع مدار تقسیم‌بندی نمود این دسته‌بندی در شکل ۲-۲- نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، منظومه‌های ماهواره‌ای موجود برای کاربردهای موقعیت‌یابی (نظیر ماهواره‌های GPS)، پخش سراسری، کاربرد مانیتورینگ و کاربرد ارتباطات دو طرفه به کار می‌روند. مهم‌ترین منظومه‌های ارتباطی دو طرفه عبارتند از منظومه اینمارست[1]، منظومه گلوبال استار[2]،

1 Inmarsat
2 Globalstar

منظومه ایریدیوم[1]، منظومه O3b[2]، منظومه اُرب‌کام[3]، منظومه سَت‌کام[4]، منظومه ویاسَت[5] و منظومه ثریا[6].

این هشت منظومه پیش از رقابت گسترده ابرمنظومه‌ها در سال‌های اخیر، طراحی و به کارگیری شده‌اند. در حقیقت منظومه‌های ماهواره‌ای تاریخچهٔ پر افت و خیزی دارند. در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ میلادی دو شرکت ایریدیوم و گلوبال‌استار اقدام به برنامه‌ریزی گسترده برای ارایه خدمات مخابراتی نظیر ارتباطات صوتی از منظومه‌ای با بیش از ۱۰۰ ماهواره نمودند، ولیکن این طرح‌ها پس از چندین پرتاب موفق در نهایت از لحاظ برآوردهای مالی با شکست مواجه شدند. به عبارت دیگر هر دو شرکت به این نتیجه رسیدند که هزینه‌های ارسال و نگهداری ماهواره در مدار بسیار بالاتر از درآمدهای احتمالی منظومه‌ها خواهد بود. در نهایت این دو شرکت با حفظ ماهواره‌های خود در مدار، طرح‌های توسعه و جایگزینی آن‌ها را کنار گذاشتند. در حال حاضر (سال ۲۰۲۱) ایریدیوم با ۶۶ ماهواره و گلوبال استار با ۴۸ ماهواره در مدار لئو حضور دارند و سهم بالایی از بازار ارتباطات مخابراتی را در اختیار ندارند.

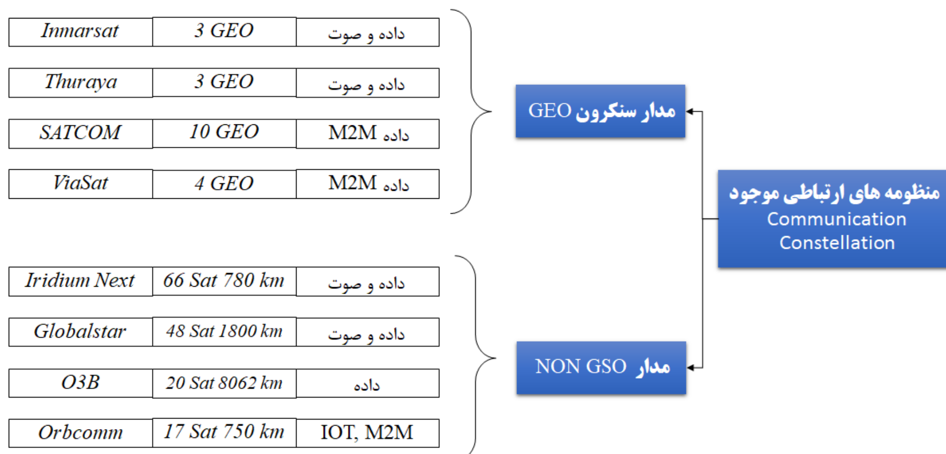
پس از این دو منظومه، منظومه‌های O3b با ۲۰ ماهواره در مدار مئو و ارب‌کام با ۱۷ ماهواره در مدار لئو نیز برای کاربران دریایی و نقاط دورافتاده خدمات دو طرفه را برقرار نمودند. بعلاوه منظومه‌های ثریا، اینمارست، سَت‌کام و ویاسَت نیز هر کدام با سه یا چهار ماهواره در مدار ژئو حضور دارند و عمدتا خدمات صوت یا ارتباطات ماشین به ماشین (M2M) را برقرار می‌نمایند. باتوجه به تاخیر بالای منظومه‌های ژئو و نرخ داده نسبتا پایین، این منظومه‌ها غالباً در مکان‌هایی که هیچ ارتباط زمینی برقرار نیست، کاربرد دارند. جمع‌بندی منظومه‌های مخابراتی دو طرفه در شکل ۲-۲- صورت گرفته است.

1 Iridium
2 O3B
3 Orbcomm
4 SATCOM
5 ViaSat
6 Thuraya



شکل ۲-۱- انواع منظومه‌های ماهواره‌ای موجود [2]

روش‌های ارتباطی برای منظومه‌های موجود استفاده از گوشی‌های تلفن مخصوص، مودم‌های مخصوص و تبدیل‌کننده‌های گوشی تلفنِ همراه می‌باشد. شرح این مسئله در شکل ۲ -۳- نشان داده شده است. در منظومه‌های لئو نیز دو روش مودم و گوشی تلفن مخصوص جهت برقراری ارتباط چنانکه در شکل۲-۴- نشان داده شده است، وجود دارد. همانطور که مشاهده می‌شود، در حال حاضر، تنها شرکت ایریدیوم قابلیت برقراری ارتباط داده در سطح ماهواره‌های لئو را برقرار کرده است. علت گرانتر بودن محصولات این شرکت، پوشش سراسری در تمام نقاط دنیا (شامل آب‌های آزاد) و همچنین نرخ بیت بالاتر مودم‌ها می‌باشد. پهنای باند اکثر منظومه‌های ژئو و منظومه‌های لئو موجود قابل توجه نیست، به طور مثال سیستم Iridum GO در شکل۲-۴- دارای پهنای باند bps ۲۴۰۰ می‌باشد که نیازهای وب‌گردی را نیز به سختی پاسخگو می‌باشد. مودم تالس شرکت ایریدیوم در همان شکل نیز پهنای باندی در حدود kbps ۷۰۰ را ارایه می‌نماید. مودم‌های هیوز در شکل ۲-۳- نیز حداکثر پهنای باندkbps ۴۶۴ دارند. این مسائل در کنار هزینه‌های بالا، باعث عدم فراگیری قابل توجه استفاده از این منظومه‌ها شده است.



شکل ۲-۲- منظومه‌های ماهواره‌ای مخابراتی (دو طرفه) موجود[2]



شکل ۲-۳- سه نوع تجهیز برای ارتباط با منظومه‌های ماهواره ژئو موجود[3]



شکل ۲-۴- دو روش موجود (تا سال ۲۰۲۱) برای ارتباط با منظومه‌های ماهواره لئو[4]

۲-۳. ابرمنظومه‌های آتی

چنانکه در فصل اول مطرح شد، ایده ابرمنظومه‌ها در عصر فضایی جدید و از سال ۲۰۱۵ مطرح شد. این فن‌آوری با هزاران ماهواره در مدار ارتفاع پایین لئو امکان ارایه خدمت پهن‌باند را برای کاربران زمینی با نرخ داده مناسب و تاخیر کم فراهم می‌نماید. با طرح این ایده توسط شرکت وان‌وب شرکت‌های دیگری نظیر اسپیس‌ایکس نیز به رقابت برای کسب بازار اینترنت ماهواره‌ای پرداختند. بر طبق اطلاعات جمع‌آوری شده در سال ۲۰۲۱، بیش از ۳۰ شرکت از سراسر دنیا قصد دارند، ایده منظومه ماهواره‌ای برای ارایه سرویس اینترنت را در سال‌های آتی پیگیری نمایند. این ۳۰ شرکت در جدول ۲-۱- آورده شده‌اند. باید دقت نمود که برخی از این شرکت‌ها بسیار نوپا هستند و ممکن است در ادامه کار از توسعه ابرمنظومه اینترنتی منصرف شوند.

جدول ۲-۱- لیست شرکت‌های سازنده منظومه که قصد ارایه سرویس اینترنت ماهواره‌ای دارند [5]

	نام شرکت و نام منظومه	تاریخ شروع	تعداد برنامه‌ریزی شده	تعداد پرتاب‌شده	کشور	سرویس ارایه‌شده	توضیحات
۱	Globalstar (Second-Generation)	۱۹۹۸	۲۴	۸۴	آمریکا	اینترنت IoT /M2M	اولین منظومه اینترنتی با پوشش ۸۰ درصد سطح زمین
۲	SES (O3b / mPOWER)	۲۰۱۳	۷۰	۲۰	آمریکا	اینترنت	ماهواره‌ها در مدار ۸۰۰۰ کیلومتری (مئو) برای بکهال اینترنت استفاده می‌شوند. شبکه نهایی O3b شامل ماهواره ۲۴ در مدار مئو و ۳۶ ماهواره در VLEO، به علاوه ۱۰ ماهواره در مدار استوایی دایره‌ای است.
۳	OneWeb	۲۰۱۵	۷۱۶	۱۴۶	انگلیس آمریکا	اینترنت	همکاری با ایرباس برای ساخت ماهواره‌های ۱۲۵ کیلوگرمی، در سال ۲۰۲۰ مشکلاتی در تأمین مالی داشت اما در ۲۰۲۱ ادامه پرتاب‌ها را از سر گرفت
۴	SpaceX (Starlink)	۲۰۱۶	۴۱۴۹۳	۱۳۸۵	آمریکا	اینترنت	مهمترین شرکت ساخت منظومه، ارسال بیش از ۱۰۰۰ ماهواره به فضا، اولین شرکت ارایه‌کننده اینترنت پرسرعت از فضا در سال ۲۰۲۱
۵	Hongyun / Xingyun (Xingyun-2)	۲۰۱۷	۸۰	۴	چین	اینترنت IoT / M2M	تکمیل منظومه تا ۲۰۲۵، اولین ماهواره آن با نام جیادینگ۱، ۴۵ کیلوگرم وزن داشت

	نام شرکت و نام منظومه	تاریخ شروع	تعداد برنامه‌ریزی شده	تعداد پرتاب‌شده	کشور	سرویس ارایه‌شده	توضیحات
۶	Telesat (Lightspeed)	۲۰۱۷	۲۹۸	۲	کانادا	اینترنت	ماهواره‌ها ۷۰۰ کیلوگرمی هستند و دو نمونه پرتاب شده‌اند.
۷	Iridium NEXT (NEXT)	۲۰۱۷	۷۵	۷۵	آمریکا	اینترنت IoT / M2M	ایریدیوم اولیه بین سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۰۲ پرتاب‌شده و در حال حاضر اکثرا از مدار خارج شده‌اند. ایریدیوم بعدی از سال ۲۰۱۷ با هدف اینترنت پرتاب شده است.
۸	Kepler Communications	۲۰۱۸	۳۶۰	۱۵	کانادا	اینترنت IoT / M2M	شبکه کانادایی تلاش برای ایجاد ارتباطات اینترنت اشیا و ماشین به ماشین از طریق منظومه. نرخ‌های ۱تا۴۰ مگابیت در ثانیه.
۹	Hongyan (CASC)	۲۰۱۸	۳۲۰	۱	چین	اینترنت	منظومه بزرگ چینی برای ارایه سرویس پهن‌باند جهانی، ارتباطات صوتی و سایر خدمات.
۱۰	Astranis (MicroGEO)	۲۰۱۸	N/A	۱	آمریکا	اینترنت	ماهواره‌های کوچک در مدار ژئو با وزن ۳۰۰ کیلوگرم تا ۱۰ گیگابیت بر ثانیه پهنای باند را فراهم کند.
۱۱	Lynk	۲۰۱۹	۱۰۰۰	۱	آمریکا	IoT / M2M, اینترنت مستقیم به تلفن همراه	استفاده از نانوماهواره‌ها به روشی منحصر به فرد برای اتصال به تلفن‌های همراه معمولی در هر جای کره زمین.
۱۲	NSLComm	۲۰۱۹	۸۰	۱	اسرائیل	اینترنت IoT / M2M	شبکه‌های ارتباطی با یک آنتن با قابلیت استقرار سریع به صورت بادی با سرعت ۱ گیگابیت بر ثانیه در هر کجای دنیا به منظومه متصل می‌شوند.

	نام شرکت و نام منظومه	تاریخ شروع	تعداد برنامه‌ریزی شده	تعداد پرتاب‌شده	کشور	سرویس ارایه‌شده	توضیحات
۱۳	AST&Science (SpaceMobile)	۲۰۱۹	۲۴۳	۱	آمریکا	اینترنت مستقیما به تلفن همراه	اولین شبکه پهن‌باند سلولی مبتنی بر فضا برای تلفن‌های همراه. فن‌آوری روی ماهواره مکعبی آزمایش شده است.
۱۴	PointView (Athena)	۲۰۲۰	N/A	۱	آمریکا	اینترنت	یکی از شرکت‌های تابعه فیس بوک است. دارای لینک اپتیکی بین ماهواره‌ای در منظومه است.
۱۵	Galaxy Space (Yinhe)	۲۰۲۰	۱۰۰۰	۱	چین	اینترنت 5G	بر اساس استاندارد 5G از محدوده طیف باند Q / V استفاده می‌کند. ماهواره اول GS-SparkSat-03 نامیده شد.
۱۶	Amazon (Project Kuiper)	۲۰۲۰	۳۲۳۶	۰	آمریکا	اینترنت	ارایه اینترنت پهن‌باند با تاخیر کم در سراسر جهان
۱۷	Efir / Sfera	۲۰۲۰	۶۴۰	۰	روسیه	اینترنت، رصد زمین	پروژه منظومه روسیه، برای سرویس اینترنت به دلیل کمبود سرمایه‌گذاری در حال حاضر متوقف شده است.
۱۸	Viasat (MEO Constellation)	۲۰۲۰	۲۰	۰	آمریکا	اینترنت	با استفاده از باند Ka و طیف باند V با فرکانس بالاتر در مدار ۸۲۰۰ کیلومتری کار می‌کند.
۱۹	Sateliot	۲۰۲۱	۱۰۰	۱	اسپانیا	IoT / M2M, ارتباط مستقیم به تلفن همراه	اینترنت اشیا جهانی که شبکه‌های ماهواره‌ای و زمینی را تحت پروتکل 5G ادغام می‌کند.
۲۰	Geely	۲۰۲۱	N/A	۰	چین	اینترنت	پشتیبانی از انتقال داده‌های با سرعت بالا، ناوبری دقیق و محاسبات ابری.

	نام شرکت و نام منظومه	تاریخ شروع	تعداد برنامه‌ریزی شده	تعداد پرتاب‌شده	کشور	سرویس ارایه‌شده	توضیحات
۲۱	Astrome (SpaceNet)	۲۰۲۱	۱۹۸	۰	هند	اینترنت	شرکت فن‌آوری فضایی هند برای ارایه اینترنت با سرعت بالا و پهن‌باند از فضا. ارایه خدمات بکهال به شرکت‌های مخابراتی زمینی.
۲۲	Omnispace	۲۰۲۱	۲۰۰	۰	آمریکا	IoT / M2M, 5G	اولین شبکه جهانی 5G براساس تعاریف ایستگاه غیرزمینی 3GPP – در حدود ۲۰۰ ماهواره لئو و ۱۵ ماهواره مئو
۲۳	ProXops (VariSat)	۲۰۲۱	N/A	۰	آمریکا	اینترنت IoT / M2M	پروتکل ارتباطات داده‌ای جدید و فوق‌العاده قوی. از خصوصیات پراش / بازتاب برخی از قسمتهای طیف (۱,۷RF مگاهرتز تا ۳۰ مگاهرتز) در یونسفر استفاده می‌کند.
۲۴	Methera	۲۰۲۲	N/A	۰	انگلیس	اینترنت	کار بر روی طراحی ترمینال کم هزینه شروع شده است. دریافت بودجه از Innovate UK ماهواره‌های انعطاف‌پذیر و پویا، تمام پهنای باند خود را از چندین ماهواره به یک منطقه کوچک از مناطق هدف متمرکز می‌کند.
۲۵	Mangata Networks	۲۰۲۳	۷۹۱	۰	آمریکا	اینترنت 5G	این منظومه توسط مدیر سابق وان‌وب برنامه‌ریزی شده است. و برای مدار ارتفاع بالا HEO است.

	نام شرکت و نام منظومه	تاریخ شروع	تعداد برنامه‌ریزی شده	تعداد پرتاب‌شده	کشور	سرویس ارایه‌شده	توضیحات
۲۶	Hanwha Systems	۲۰۲۳	۲۰۰۰	۰	کره جنوبی	اینترنت 6G	بین سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۵، ارتباطات به زمین و دریا محدود می‌شود. گسترش به هواپیما و متحرک هوایی شهری در سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۳۰، و به اینترنت 6G تا سال ۲۰۳۰
۲۷	CurvaNet	N/A	۲۴۰	۰	آمریکا	اینترنت	ترمینال کاربر که با هزینه کمتر از ۱۰۰ دلار تولید می‌شوند، می‌تواند ماهواره‌های لئو را در حالی که حدود ۵ وات انرژی مصرف می‌کند ردیابی کند. بسیار کم‌هزینه هستند و از فن‌آوری شکل‌دهی پرتو آرایه فازی استفاده نمی‌کند.
۲۸	Bitlinq Space	N/A	N/A	۰	هلند	اینترنت، IoT / M2M	سیستم پیام‌رسان جهانی دو طرفه مقاوم در برابر سانسور
۲۹	Apple	N/A	N/A	۰	آمریکا	اینترنت ارتباط مستقیم با تلفن همراه	در مراحل کاملا اولیه در حال بررسی ارتباط مستقیم گوشی با ماهواره در شرکت اپل
۳۰	Apogee Networks	N/A	N/A	۰	نیوزلند	اینترنت	سیستم ماهواره‌ای پهن‌باند جهانی، طراحی شده به عنوان یک شبکه با ظرفیت بسیار بالا. باند V و Q با حداقل پیش‌بینی ۲ گیگاهرتز از طیف هماهنگ قابل استفاده.
۳۱	Guo Wang	N/A	۱۹۹۲	۰	چین	اینترنت	این شرکت برای دو منظومه با نام‌های GW-A59 و GW-2، درخواست طیف را

	نام شرکت و نام منظومه	تاریخ شروع	تعداد برنامه‌ریزی شده	تعداد پرتاب‌شده	کشور	سرویس ارایه‌شده	توضیحات
							به ITU ارسال کرده است
۳۲	UTOWAVE (SpaceDust)	N/A	N/A	۰	آمریکا	اینترنت	ماهواره پیکو که دسترسی با اطمینان بالا را به اینترنت در سراسر جهان را فراهم می‌کند.

N/A به معنای در دست نبودن اطلاعات است.

از میان ۳۲ شرکت موجود در جدول ۲-۱-، دو شرکت پیشرو در فن‌آوری ابرمنظومه‌های، وان‌وب و اسپیس‌ایکس، در حال پیگیری بلندپروازانه‌ترین پیشنهادهای ارتباطات از طریق ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای در مدار لئو هستند. وان‌وب بیش از ۳،۸ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری برای ساخت منظومه‌ای با بیش ۶۰۰ ماهواره جذب نموده است. جاه طلب‌تر از وان‌وب، برنامهٔ اسپیس‌ایکس برای ابرمنظومهٔ خود استارلینک می‌باشد. نسل اول استارلینک بیش از ۴۰۰۰ ماهواره دارد و قرار است به ۱۲،۰۰۰ افزایش یابد. ابرمنظومه‌های دیگر از طرف شرکت‌هایی مانند آمازون، شرکت کانادایی تله‌سَت، و همچنین استارتاپ‌های کوچکتر مانند ارتباطات کپلر و لئوسَت نیز از سال ۲۰۱۸ به بعد پیشنهاد شده‌اند. در حالی که برخی از این شرکت‌ها فقط پروژه‌های نوپا هستند، پتانسیلی برای مهیا کردن حجم بالایی از پهنای باند در سال‌های آتی خواهند داشت.

چین نیز برنامه‌ریزی‌هایی برای تولید ابرمنظومه داشته است. شرکت علم و فن‌آوری هوافضای چین (CASC)[1] که یک شرکت دولتی است، در حال برنامه‌ریزی برای یک منظومه به نام هونگیان با ۳۰۰ ماهواره به منظور ارایه سرویس ارتباطات پهن‌باند می‌باشد. اولین ماهواره هونگیان در اواخر سال ۲۰۱۸ پرتاب شد، و CASC اقدام به تاسیس یک کارخانه در

1 China Aerospace Science and Technology Corporation

تیانجین نمود که قادر به تولید ۱۳۰ ماهواره در سال است. ابرمنظومه‌های چینی به احتمال زیاد به بازارهای فرامرزی نسبت به ابرمنظومه‌های تجاری غربی کمتر پاسخگو خواهند بود.

در ادامه جزییات بیشتری از پنج منظومه اصلی در زمینه فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای و آخرین دستاوردهای فنی شرکت‌های تولیدکننده آنها را بررسی می‌کنیم. این پنج منظومه عبارتند از:

۱- منظومه استارلینک شرکت اسپیس‌ایکس

۲- منظومه وان‌وب

۳- منظومه سرعت نور تله‌سَت

۴- پروژه کوپیر شرکت آمازون

۵- پروژه mPOWER O3B شرکت SES

علاوه بر این پنج منظومه، منظومه لینک به عنوان یک منظومه از ماهواره‌های بسیار کوچک با برنامه و چشم‌اندازی متفاوت نیز در انتهای این فصل بررسی خواهد شد.

۲-۴. منظومه استارلینک شرکت اسپیس‌ایکس

شرکت اسپیس‌ایکس یک شرکت آمریکایی خصوصی در زمینه تولید سازه‌های فضایی و نقل و انتقال فضایی است که در سال ۲۰۰۲ توسط ایلان ماسک با هدف ایجاد حمل و نقل فضایی تا مریخ ایجاد شد. ایلان ریو ماسک متولد ۱۹۷۱ آفریقای جنوبی، مهندس، مخترع و شخص نامی تجارت در صنایع پیشرفته آمریکایی و جز ده شخصیت تأثیرگذار جهان است. او بنیان‌گذار شرکت‌هایی همچون تسلا موتورز، پی‌پال و اسپیس‌ایکس است. او هم‌اکنون مدیرعامل و مدیر فنی در اسپیس‌ایکس می‌باشد. ایلان ماسک دومین کارآفرین در سیلیکون‌ولی بود که موفق شد سه شرکت با ارزشی بیش از یک میلیارد دلار را ایجاد کند.

رؤیای ماسک از تاسیس شرکت اسپیس‌ایکس ساخت یک موشک قابل اطمینان نسبتاً ارزان بود که بتواند بارها به فضا برود و قابل استفاده مجدد باشد. وی این مسئله را برای ایجاد حمل و نقل فضایی به مریخ در نظر داشت. اسپیس‌ایکس در واقع یک شرکت حمل و نقل فضایی خصوصی است و تاکنون دو محصول عمده فضاپیماهای دراگون (شکل ۲-۵-) و

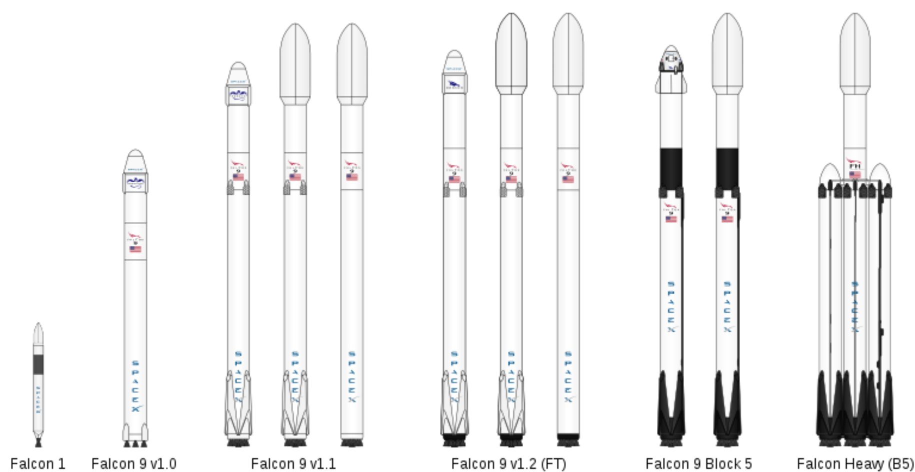
خانواده موشک‌های فالکون (شکل ۲-۶-) را طراحی نموده است. تعداد کارمندان این شرکت از ۱۶۰ نفر در نوامبر ۲۰۰۵ به ۷۰۰۰ نفر در سال ۲۰۱۹ رسید. این شرکت از زمان تاسیس قراردادهای متعددی را با ناسا اجرا نموده است.

اسپیس‌ایکس در ۸ دسامبر ۲۰۱۰، پس از بازگشت کپسول دراگون از یک پرواز دو مداری، تبدیل به اولین شرکت خصوصی شد که توانسته است، هر دو عملیات ارسال و دریافت سفینه فضایی از مدار را با موفقیت پشت سر بگذارد. بر پایه برنامه اسپیس‌ایکس، نخستین گروه از انسان‌ها در سال ۲۰۲۴ میلادی به مریخ فرستاده شده و در سال ۲۰۲۵ به آن سیاره خواهند رسید. پیش از ارسال بشر به مریخ، تجهیزات لازم برای اسکان بشر، هر دو سال یک‌بار به مریخ فرستاده خواهد شد.

خانواده موشک‌های فالکون از جمله مهم‌ترین محصولات اسپیس‌ایکس بوده است. فالکون ۱ یک راکت کوچک با توانایی قرار دادن چند صد کیلوگرم در مدار نزدیک زمین بود. در ۲۸ سپتامبر ۲۰۰۸، فالکون ۱ بعد از چهارمین تلاش، موفق به رسیدن به مدار شد و تبدیل به اولین راکت با سرمایه خصوصی و سوخت مایع شد. فالکون ۱ در ۱۳ ژوئیه ۲۰۰۹، در پنجمین پروازش موفق به حمل موفقیت‌آمیز اولین محموله تجاری خود، ماهواره مالزیایی «رازک‌سَت» و قرار دادن آن در مدار شد. یکی دیگر از فالکون‌های مهم این شرکت فالکون ۹ می‌باشد که قادر به تحویل ۱۰۴۵۰ کیلوگرم به مدار است و برای رقابت با موشک‌های دلتا ۴ و اطلس ۵ در نظر گرفته شده است. در ژوئن ۲۰۱۰، راکت فالکون ۹ در اولین تلاشش موفق به رسیدن به مدار شد. این فالکون برای قرار دادن ماهواره‌های استارلینک مورد استفاده قرار گرفته است.

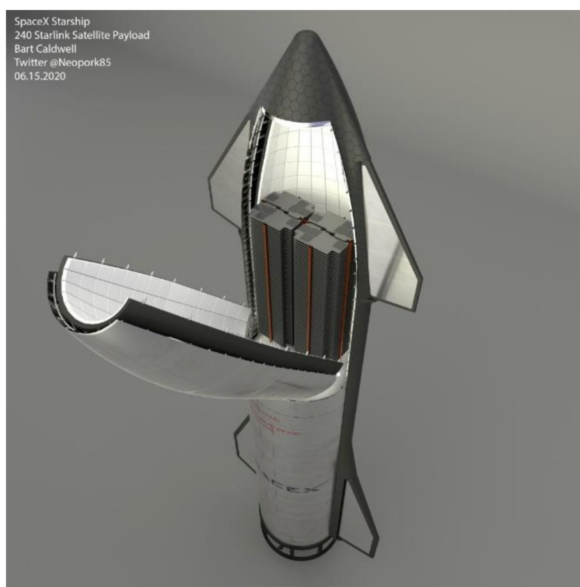


شکل ۲-۵- فضاپیمای دراگون از محصولات مهم شرکت اسپیس‌ایکس [6]



شکل ۲-۶- موشک‌های فالکون ۹ تولید شده توسط اسپیس‌ایکس[6]

پروژه مهم دیگری که اسپیس‌ایکس دنبال می‌کند، طراحی و تولید استارشیپ[1] با قابلیت استفاده مجدد می‌باشد. استارشیپ بزرگترین موشک طراحی شده توسط شرکت و یکی از بزرگترین موشک‌های پرتاب‌شده در جهان می‌باشد. ایلان ماسک پروژه استارشیپ را مهم‌ترین هدف اسپیس‌ایکس می‌داند. ابعاد فعلی این موشک‌ها ۱۲۲ متر ارتفاع و قطر آن‌ها ۹ متر می‌باشد. هزینه پرتاب هر موشک ۲ میلیون دلار برآورد شده است. این نمونه از موشک‌ها وزن با محموله در حدود ۵/۰۰۰/۰۰۰ کیلوگرم دارند و می‌توانند محموله‌ای در حدود ۱۰۰/۰۰۰کیلوگرم را جا به جا نماید. هدف از طراحی این ساختارها، سفر به کره مریخ و فرود تعداد زیادی انسان بر روی آن عنوان شده است. این موشک‌ها همچنین توانایی در مدار قرار دادن بیش از ۴۰۰ ماهواره استارلینک را دارند. در حال حاضر چندین پرتاب از این موشک‌ها ثبت شده است. شکل ۲-۷- ساختار استارشیپ را با بیش از ۴۰۰ ماهواره استارلینک نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷- استارشیپ پروژه مهم دیگر اسپیس‌ایکس با قابلیت حمل بیش از ۴۰۰ ماهواره [6]

1 Starship

در اثر پرتاب‌های موفق ارزش این شرکت از سال ۲۰۱۲ که در حدود ۱ میلیارد دلار بوده در سال ۲۰۱۹ به بیش از ۳۳ میلیارد دلار رسیده است که ۵۴ درصد سهام آن همچنان متعلق به ماسک است و مابقی به شرکت‌های بزرگ پیشرو در آمریکا نظیر فاندرز فاند و گوگل تعلق دارد. درآمد سالیانه شرکت در حدود ۲ میلیارد دلار تخمین زده شده است.

در ژانویه ۲۰۱۵ ایلان ماسک تصمیم به راه‌اندازی مرکز تولید ماهواره اسپیس‌ایکس در شهر ردموند[1] گرفت. پروژه مد نظر او این‌بار ارائه اینترنت ماهواره‌ای از یک ابرمنظومه در مدار لئو بود. در برخی اخبار پیشنهاد اولیه از سمت گرگ وایلر مدیر وان‌وب برای مشارکت اسپیس‌ایکس در منظومه این شرکت مطرح شده بود. اما به نظر می‌رسد که ایلان ماسک پس از چندین ملاقات با وایلر تصمیم گرفت، منظومه اختصاصی شرکت خود را طراحی نماید. در ژانویه ۲۰۱۶، اسپیس‌ایکس دو ماهواره تست از منظومه را ساخت. با این همه در آن سال‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌های اسپیس‌ایکس، دریافت داده توسط کاربر زمینی با کمترین هزینه ممکن بود. اسپیس‌ایکس در آن سال بر روی هدف دریافت‌کننده زمینی با قیمت حدود ۲۰۰ دلار متمرکز شده بود. لذا ماهواره‌های تولیدی صرفا بر روی زمین مورد تست قرار گرفتند.

در نوامبر ۲۰۱۶ اسپیس‌ایکس فایلینگ منظومه را در دو باند Ku و Ka به عنوان FSS در کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا انجام داد. در مارس ۲۰۱۷، اسپیس‌ایکس فایلینگ دیگری با بیش از ۷۵۰۰ ماهواره در باند V انجام داد. نام استارلینک برای پروژه اسپیس‌ایکس در سال ۲۰۱۷ انتخاب شد. در این سال اسپیس‌ایکس قانون پسماندهای فضایی کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا را امضا نمود. بر این اساس شرکت یک برنامه عملیاتی را برای خارج از مدار نمودن ماهواره‌ها در پایان عمر خود انجام می‌دهد.

در نوامبر ۲۰۱۸ این شرکت موفق به کسب مجوز کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا برای پرتاب ۷۵۱۸ ماهواره خود شد. پیش از این، مجوز پرتاب ۴۴۲۵ ماهواره را نیز کسب کرده بود. از نکات جالب توجه در همین زمان، درخواست تغییر مدار ۱۶۰۰ ماهواره از ارتفاع ۱۱۵۰ کیلومتری به ارتفاع ۵۵۰ کیلومتری در باند Ka/Ku بود. این درخواست در آپریل

1 Redmond

۲۰۱۹ مورد موافقت قرار گرفت. بدین ترتیب در آخرین برنامه‌ریزی ۱۶۰۰ ماهواره در ارتفاع ۵۵۰ کیلومتری، ۲۸۰۰ ماهواره در ارتفاع ۱۱۵۰ کیلومتری در باند Ku و Ka و حدود ۷۵۰۰ ماهواره در باند V در ارتفاع ۳۴۰ کیلومتری قرار می‌گیرد.

در دسامبر ۲۰۱۸ قراردادی مابین اسپیس‌ایکس و نیروی هوایی آمریکا به ارزش ۲۸ میلیون دلار در زمینه خدمات قابل آزمایش استارلینک به امضا رسید. در فوریه ۲۰۱۹ بخش سرویس اسپیس‌ایکس درخواستی برای صدور مجوز، یک میلیون ایستگاه زمینی ثابت جهت ارتباط با منظومه در کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا تکمیل نمود.

در آپریل ۲۰۱۹ اسپیس‌ایکس عملیات تولید ماهواره‌ها را آغاز نمود. برنامه این شرکت قرار دادن ۴۴۰۰ ماهواره در ۶۰ ماه آینده بود. بدین ترتیب ۲۲۰۰ ماهواره معادل ۵۰ درصد منظومه را در ۵ سال در مدار قرار می‌داد که این مسئله مطابق الزام تکمیل منظومه کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا می‌باشد. بر طبق این الزام کل منظومه باید در ۹ سال تکمیل گردد.

در ژوئن ۲۰۱۹، ۶۰ ماهواره اسپیس‌ایکس در مدار قرار گرفت اما در همان ابتدا سه ماهواره امکان برقراری ارتباط را از دست دادند. سه موردی که از ابتدا با قطع تماس مواجه شدند، باید به سرعت به جو زمین بازگردند. اما مشکل کشش جوی بر روی این ماهواره‌ها وجود دارد چرا که اسپیس‌ایکس قادر به کنترل فعال این ماهواره‌ها نیست. در ژوئن ۲۰۱۹ اسپیس‌ایکس درخواست مجوز ۲۷۰ ترمینال زمینی (دروازه) را در کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا تکمیل نمود. از این تعداد ۲۰۰ مورد در مرکز اسپیس‌ایکس در شهر واشنگتن مستقر شده و ۷۰ مورد در سراسر آمریکا پراکنده شده‌اند.

در سپتامبر ۲۰۱۹ اسپیس‌ایکس بار دیگر طراحی مداری ماهواره‌ها را در منظومه تغییر داد. براساس طرح جدید در ارتفاع ۵۵۰ کیلومتری تعداد ماهواره‌ها همان ۱۵۸۴ باقی می‌ماند اما تعداد مدارات از ۲۴ مدار به ۷۲ مدار تغییر می‌نماید. لذا تعداد ماهواره‌ها در هر مدار از ۶۶ مورد به ۲۲ مورد تغییر می‌نماید. شرکت علت این کار را پوشش بهتر آمریکا عنوان کرد، ضمن اینکه به توانایی افزایش مدارها در هر پرتاب نیز اشاره نمود.

در ژوئن ۲۰۲۰ اسپیس‌ایکس تقاضایی برای باند E برای نسل دوم منظومه خود پرکرد. نسل دوم منظومه در این تقاضا شامل ۳۰۰۰۰ ماهواره بود و تمام کره زمین را پوشش می‌داد. در

همین زمان اسپیس‌ایکس موفق به دریافت مجوز از رگولاتوری کانادا جهت ارایه سرویس پهن‌باند در این کشور شد. از نوامبر ۲۰۲۰ کاربران اسپیس‌ایکس امکان دریافت از این منظومه را بدست آوردند. دریافت‌های اولیه سرعت ۱۵۰ مگابیت بر ثانیه را تایید نمود.

در اواخر سال ۲۰۲۰، کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا ۹۰۰ میلیون دلار به اسپیس‌ایکس کمک نمود. این کمک در راستای برنامه پوشش روستایی کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا بود. در مقابل اسپیس‌ایکس متعهد به ارایه اینترنت در ۳۵ ایالت آمریکا شد. البته باید عنوان نمود که کمک کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا انتقادات بسیاری را از سمت رقبا در آمریکا به وجود آورد و بسیاری معتقد بودند که این منظومه ظرفیت کافی برای پوشش روستایی مد نظر کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا را ندارد. در ژانویه ۲۰۲۱، کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا درخواست اسپیس‌ایکس برای قرار دادن ماهواره در مدار قطبی را تایید نمود، هرچند تعداد ماهواره‌های مورد درخواست اسپیس‌ایکس را کاهش داد. بلافاصله پس از این تایید اسپیس‌ایکس ماهواره‌های قطبی را برای پوشش کاربران مناطق شمالی نظیر آلاسکا در مدار قرار داد. به نظر می‌رسید، چنین برنامه‌ای باتوجه به ضعف وان‌وب با مدارات قطبی، در تکمیل منظومه مورد توجه مدیران اسپیس‌ایکس قرار گرفته بود.

از ژوئن ۲۰۲۰ اسپیس‌ایکس تقریبا به صورت ثابت هر ماه ۱۲۰ ماهواره را در دو نوبت ۶۰ تایی به فضا پرتاب کرده است که حقیقتا کار بزرگی در زمینه دسترسی به فضا است. در سال‌های اخیر (سال ۲۰۲۰- ۲۰۲۱) اسپیس‌ایکس رکوردهای متنوعی را به ثبت رسانده است که از جمله آن می‌توان به رکورد قرار دادن بیشترین ماهواره در مدار (۱۴۳ ماهواره) با یک پرتاب در ژوئن ۲۰۲۱ اشاره نمود.

ابرمنظومه اسپیس‌ایکس پهنای باندی در حدود 1Gbps را در اختیار کاربر نهایی قرار می‌دهد. این ابرمنظومه بزرگ دارای یک برتری بالقوه در زمینه کاهش تاخیر در میان تمام پروژه‌هاست. در منظومه اسپیس‌ایکس هر ماهواره دارای ۵ لینک اپتیکی بین ماهواره‌ای است. این لینک‌های اپتیکی در محیط خلاء بسته می‌شوند که نسبت به محیط شیشه دارای سرعت انتشار نور بالاتری هستند لذا تاخیر مسیر در منظومه اسپیس‌ایکس کاهش خواهد یافت. همچنین باتوجه به انتخاب مسیر کوتاه بین دو نقطه دور در کره زمین امکان کاهش مسافت و کاهش تاخیر بیش از بیش میسر خواهد شد. برخی شبیه‌سازی‌های انجام شده کاهش تاخیر منظومه استارلینک تا ۷۰ درصد نسبت به سیستم زمینی فعلی را نشان

می‌دهد. این مزیت یکی از مهم‌ترین نکات سرمایه‌گذاری سنگین اسپیس‌ایکس بر روی منظومه می‌باشد.

منظومه استارلینک از سال ۲۰۲۰ فروش تجاری خود را آغاز نموده است. واضح است که قرارگیری هزاران ماهواره در مدار زمین باعث مشکلات متعددی به خصوص در زمینه پسماندهای فضایی خواهد شد. همچنین این مسئله مشکلات جدی برای بحث ستاره‌شناسی ایجاد خواهد نمود که اسپیس‌ایکس در تلاش برای حل این مشکلات است.

در مجموع هزینه طراحی، ساخت و قراردهی این مجموعه عظیم توسط اسپیس‌ایکس در حدود ۱۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۸ تخمین زده شده بود. برخی از اسنادی که در سال ۲۰۱۷ از داخل شرکت بدست آمده، نشان می‌دهد که شرکت درآمدی در حدود ۳۰ میلیارد دلار را برای سال ۲۰۲۵ از منظومه خود پیش‌بینی نموده است. علاوه بر این درآمد تخمین زده شده از پرتاب‌های شرکت در آن سال، در حدود ۵ میلیارد دلار خواهد بود. در برخی اظهار نظرها ایلان ماسک مدعی شده است که درآمد حاصل از منظومه در جهت پروژه حمل و نقل به مریخ هزینه خواهد شد.

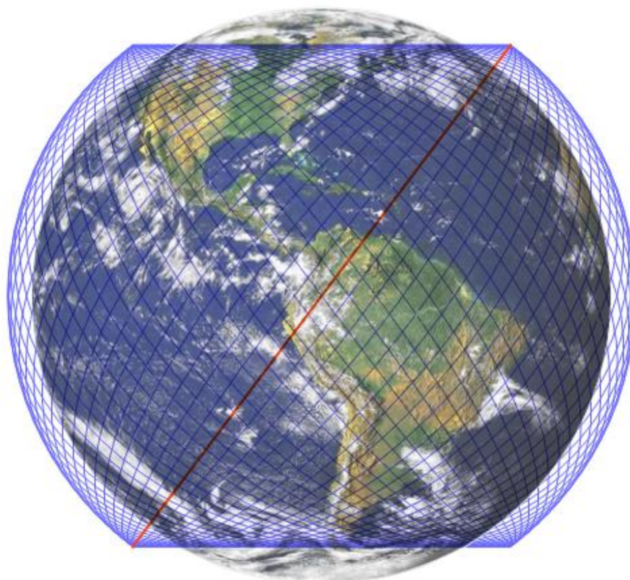
۲-۴-۱. چینش مداری منظومه استارلینک

پروژه استارلینک با هدف ایجاد پهنای باند کافی برای پشتیبانی از ۵۰ درصد ترافیک بکهال و ۱۰ درصد ترافیک اینترنت در مناطق پرجمعیت توسط شرکت اسپیس‌ایکس دنبال می‌شود. در این پروژه برنامه‌ریزی شده است که در دو مقطع، مجموعا نزدیک ۱۲۰۰۰ ماهواره تا اواسط سال ۲۰۲۷ در مدار قرار گیرد. البته در نهایت تعداد کل ماهواره‌های منظومه در آینده به تعداد ۴۲۰۰۰ ماهواره افزایش خواهد یافت.

۱۲۰۰۰ ماهواره ابتدایی در دو ارتفاع حدود ۳۰۰ کیلومتر و ۵۰۰ کیلومتر قرار می‌گیرد. نزدیک به ۴۵۰۰ ماهواره در ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری قرار می‌گیرد و حدود ۷۵۰۰ ماهواره در ارتفاع ۳۰۰ کیلومتری در باند Ku و Ka قرار می‌گیرد. جدول ۲-۲- فازهای پرتاب ۱۲۰۰۰ ماهواره این مجموعه و مدار هر یک را نشان می‌دهد. شکل ۲-۸- نحوه قرارگیری ماهواره‌ها در مدار ۵۳ درجه در ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۲- فازهای پرتاب ۱۲۰۰۰ ماهواره استارلینک و قرارگیری در مدار مورد نظر[6]

فاز			برنامه مداری			تاریخ تکمیل		ماهواره مستقر شده	
	ارتفاع برحسب کیلومتر	کل ماهواره	زاویه انحراف مدار	تعداد کل مدارها	ماهواره در هر مدار	نیمی از منظومه	کل منظومه	فعال تا ۱۰ جولای ۲۰۲۱	غیرفعال تا ۱۰ جولای ۲۰۲۱
۱	۵۵۰	۱۵۸۴	۵۳°	۷۲	۲۲	مارس ۲۰۲۴	مارس ۲۰۲۷ تعداد ۴۳۹۶ ماهواره	۱۶۱۸	۱۰۹
	۵۴۰	۱۵۸۴	۵۳,۲°	۷۲	۲۲			۰	۰
	۵۷۰	۷۲۰	۷۰°	۳۶	۲۰			۰	۰
	۵۶۰	۳۳۶	۹۷,۶°	۶	۵۸			۱۳	۰
		۱۷۲		۴	۴۳			۰	۰
۲	۹.۳۳۵	۲۴۹۳	۴۲°	۰	۰	نوامبر ۲۰۲۴	نوامبر ۲۰۲۷ تعداد ۷۵۱۸ ماهواره	۰	۰
	۸.۳۴۰	۲۴۷۸	۴۸°	۰	۰			۰	۰
	۶.۳۴۵	۲۵۴۷	۵۳°	۰	۰			۰	۰



شکل ۲-۸- مدارهای ۵۳ درجه در ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری منظومه استارلینک [6]

۲-۴-۲. ماهواره‌های استارلینک

نوع ماهواره‌های منظومه استارلینک از کلاس ماهواره‌های کوچک بین ۱۰۰ کیلوگرم تا ۵۰۰ کیلوگرم می‌باشد. به نظر می‌رسد ماهواره‌های مختلف در پرتاب‌های اسپیس‌ایکس دقیقا مشابه یکدیگر نیستند و تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند. ماهواره‌هایی که در پرتاب‌های سال ۲۰۱۹ استفاده شده‌اند، دارای وزن ۲۲۷ کیلوگرم بوده‌اند. بر طبق فایلینگ اسپیس‌ایکس ماهواره‌ها دارای لینک اپتیکی، آنتن‌های آرایه فازی و فن‌آوری پردازش در باند Ku و Ka هستند. با این همه تمام ماهواره‌هایی که تا ژوئن ۲۰۲۰ پرتاب شده‌اند، فاقد لینک اپتیکی بوده‌اند. بر طبق مطالب ارایه‌شده ماهواره‌های با لینک اپتیکی از سال ۲۰۲۱ در مدار قرار می‌گیرند.

ماهواره‌های پرتاب‌شده در ماه می ۲۰۱۹ دارای خصوصیات زیر بوده‌اند:

- طراحی به صورت تخت با چندین آنتن، توان عملیاتی بالا و یک آرایه خورشیدی
- وزن ماهواره ۲۲۷ کیلوگرم
- مجهز به پیشرانه اثر هال[1] با استفاده از کریپتون به عنوان جِرم واکنشی برای تنظیم موقعیت ماهواره در مدار
- سیستم ناوبری براساس ردیاب ستاره‌ای
- استفاده از بانک داده پسماندهای فضایی وزارت دفاع آمریکا برای اجتناب از برخورد
- ۹۵ درصد ماهواره در پایان دوره عملکرد در جو زمین آتش گرفته و از بین می‌رود.

ماهواره‌هایی که در نوامبر ۲۰۱۹ توسط اسپیس‌ایکس در مدار قرار گرفت، علاوه بر مسائل فوق دارای خصوصیات زیر نیز بود:

- ۱۰۰ درصد اجزاء ماهواره در پایان دوره عملکرد در جو زمین آتش گرفته و از بین می‌رود.
- باند Ka به ماهواره اضافه شد.
- وزن ماهواره ۲۶۰ کیلوگرم

1 Hall-effect thrusters

- نوعی پوشش بر روی ماهواره استفاده شد که اثر آلبدو[1] را کاهش می‌داد. این مسئله برای کاهش مشکلات ستاره‌شناسی مورد استفاده قرار گرفت.

یکی از نکات چالش برانگیز در مورد ماهواره‌های استارلینک تصویری بود که ایلان ماسک از قرارگیری ۶۰ ماهواره در موشک فالکون ۹ در ماه می ۲۰۱۹ منتشر نمود. (شکل ۲-۹-) ساختار بسیار متفاوت این ماهواره‌ها را نشان داد. بر اساس برخی توضیحات ارایه‌شده توسط شرکت، ماهواره‌های استارلینک کاملا تخت هستند. این ساختارهای تخت هرکدام مجهز به چندین پنل آرایه فازی مسطح و لینک‌های اپتیکی هستند. (شکل ۲-۱۰-) شمایی از ماهواره‌ها را نشان می‌دهد. این ساختار مسطح هر کدام وزنی در حدود ۲۰۰ کیلوگرم دارند. (شکل ۲-۱۱-) پنل خورشیدی بازشونده این ماهواره را نشان می‌دهد.



First 60 @SpaceX Starlink satellites loaded into Falcon fairing. Tight fit.



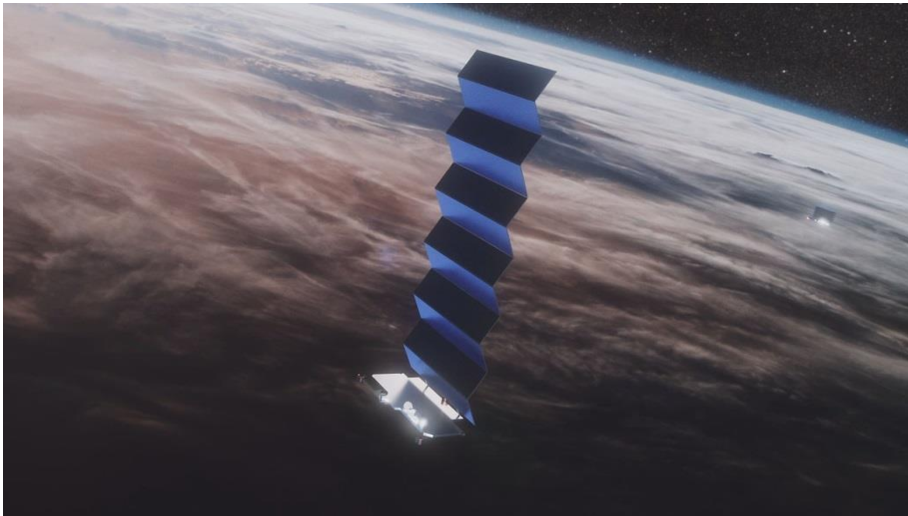
شکل ۲-۹- تصویر منتشر شده از قرارگیری ۶۰ ماهواره استارلینک بر روی موشک فالکون ۹[8]

---

۱ سپیدایی یا آلبدو (Albedo) به معنی درصد بازتاب نور از سطح یک جسم است. مقادیر این کمیت می‌تواند از صفر (تاریک مطلق) تا یک (روشن مطلق) تغییر پیدا کند.



شکل ۲-۱۰- تصویر تخمینی از ماهواره منظومه استارلینک[8]



شکل ۲-۱۱- ساختار باز شونده پنل خورشیدی ماهواره استارلینک[9]

۲-۴-۳. ایستگاه‌های زمینی استارلینک

شرکت اسپیس‌ایکس سه نوع دریافت‌کننده زمینی دارد که عبارتند از ایستگاه‌های TT&C، دروازه‌های زمینی و ترمینال کاربر نهایی. ایستگاه‌های TT&C در تمام کره زمین پراکنده شده‌اند و آنتن‌های آن از نوع رفلکتور و در حدود ۵ متر قطر دارد. ترمینال زمینی و آنتن کاربر نهایی هر دو از نوع آنتن‌های آرایه فازی می‌باشند. تعداد دروازه‌های زمینی

اسپیس‌ایکس در حدود ۱۲۰ دروازه در سراسر کره زمین خواهد بود. همانطور که پیش از این عنوان شد، باند فرکانسی Ka برای ارتباط ماهواره با دروازه‌های زمینی در نظر گرفته شده است. جدول ۲-۳- نحوه برقراری ارتباط با کاربر و با دروازه زمینی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در این منظومه برقراری ارتباط با کاربر و دروازه زمینی با آنتن چند پرتویی برقرار می‌شود.

جدول ۲-۳- نحوه برقراری ارتباط در منظومه استارلینک[7]

	Downlink /Gateway	Downlink /User
تعداد پرتو	9	8
قابلیت چرخش	بله	بله
قابلیت شکل‌دهی	خیر	بله
پوشش هر پرتو	780 km2	2800 km2
پهنای باند	250 MHz	250 MHz
EIRP	39.44 dBW	36.7dBW
پلاریزاسیون	R/LHCP	RHCP

آنتن کاربر زمینی اسپیس‌ایکس یک آنتن رفلکتوری با منظور تنظیم خودکار زاویه به سمت مورد نظر در آسمان می‌باشند و به نظر می‌رسد، سامانه زمینی دارای هدایت همزمان الکتریکی و مکانیکی است. ساختار فعلی دریافت‌کننده‌های اسپیس‌ایکس در شکل ۲-۱۲- آورده شده است.

در سال ۲۰۲۱ اسپیس‌ایکس بیش از ده هزار کاربر در آمریکای شمالی دارد و البته به سرعت بر تعداد کاربران این منظومه افزوده خواهد شد. طبق گفته‌های شرکت به زودی کاربرانی در انگلیس از اینترنت استارلینک استفاده خواهند کرد. بر طبق اعلام شرکت فروش فعلی بسیار محدود است و به صورت اولویت ثبت نام[1] صورت می‌پذیرد. اکثر کاربران فعلی رضایت بسیار بالایی از سامانه داشته‌اند و سرعت ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه را در نقاط مختلف آمریکا حتی در شرایط ابری و بارانی دریافت کرده‌اند. شرکت اعلام نموده است که تا اواسط

1 First Come First Served

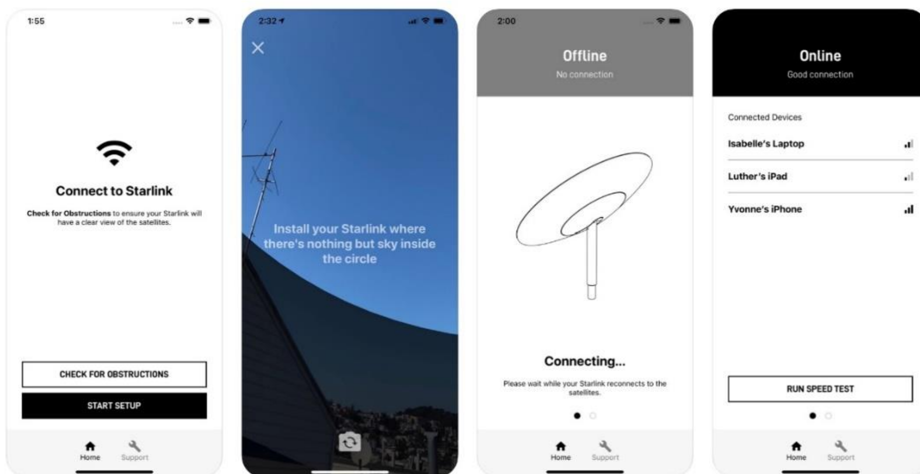
سال ۲۰۲۱ با افزایش تعداد ماهواره‌ها سرعت ۲۰۰ مگابیتی برای کاربران فراهم خواهد شد. البته اهداف شرکت سرعت‌های بالای ۱ گیگابیت در زمان تکمیل منظومه است. هزینه اشتراک ماهانه سرویس ۹۹ دلار و هزینه تجهیزات ۴۹۹ دلار می‌باشد. البته برخی تخمین‌ها نشان می‌دهد، هزینه‌های اسپیس‌ایکس برای منظومه به مراتب بالاتر از هزینه اشتراک ماهیانه بوده است و احتمالا قیمت اعلام شده برای سرعت‌های پایین و کاربران اولیه در نظر گرفته شده است.



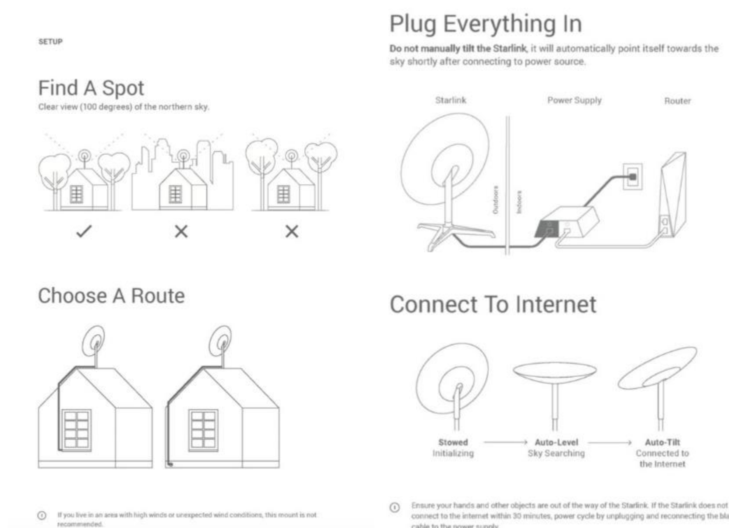
شکل ۲-۱۲- ساختار دریافت‌کننده‌های اسپیس‌ایکس[8]



شکل ۲-۱۳- ادوات تحویلی اسپیس‌ایکس به هنگام خرید[6]



شکل ۲-۱۴- نرم‌افزار اسپیس‌ایکس جهت اتصال به ماهواره[6]



شکل ۲-۱۵- بهترین شرایط نصب طبق توصیه کاتالوگ‌های اسپیس‌ایکس[6]

ادوات تحویلی به قیمت ۴۹۹ دلار شامل یک آنتن حدود ۶۰ سانتی‌متری یک اداپتور تغذیه و یک روتر خانگی برای پخش امواج Wi-Fi می‌باشد. شمایی از این ادوات در شکل ۲-۱۳- آورده شده است. در کنار این ادوات یک نرم‌افزار ساده قابل نصب بر روی گوشی و موبایل به کاربر داده می‌شود که به راحتی نصب اولیه را در نرم‌افزار انجام دهد. شمایی از این نرم‌افزار در شکل ۲-۱۴- آورده شده است. این نرم‌افزار اتصال صحیح سامانه زمینی به ماهواره و سرعت ارتباطی را نشان می‌دهد. به محض برقراری ارتباط ماهواره با ترمینال زمینی نرم‌افزار حالت Online را به کاربر نشان می‌دهد و کاربر می‌تواند تنظیمات مودم خانگی Wi-Fi را جهت اتصال به مجموعه‌ای از دستگاه‌های مورد نیاز انجام دهد.

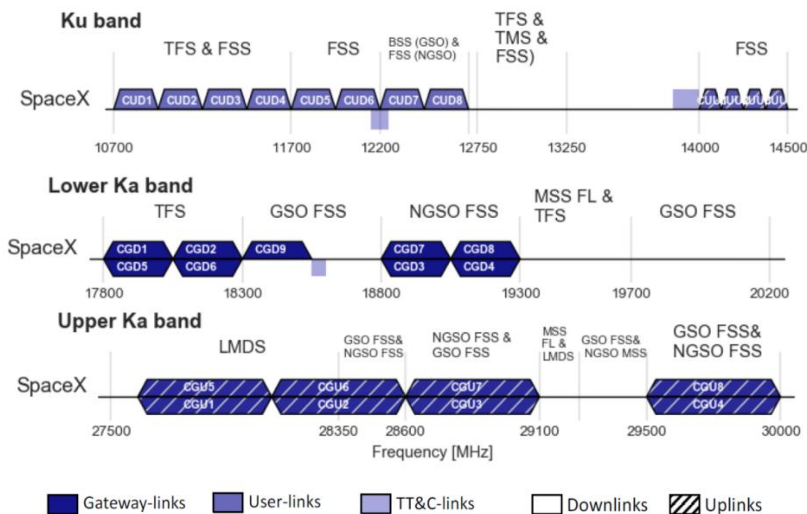
همانطور که در کاتالوگ نصب مشاهده می‌شود، آنتن نیازمند تنظیم خاصی نیست و به محض شناسایی در گوشی فرد به صورت Auto Tilt در جهت مناسب قرار می‌گیرد. همچنین در کاتالوگ نصب بهترین شرایط دریافت برای اسپیس‌ایکس را محیط‌های باز و غیر شلوغ عنوان نموده است. این مسئله باتوجه به اینکه ماهواره‌های لازم در زوایای تیلت نزدیک به عمود نیستند، قابل توجیه است. همچنین باید دقت نمود که ماهواره‌ها و سلول‌های بزرگ‌شان اساسا ظرفیت کافی برای پوشش تمام کاربران مناطق پرجمعیت را ندارد. شمایی از مکان مناسب نصب آنتن در شکل ۲-۱۵- آورده شده است.

۲-۴-۴. فرکانس‌های استارلینک

بر اساس اطلاعات موجود از فایلینگ این شرکت، فرکانس‌های کاربران در محدوده باند Ku و دارای هم‌پوشانی با باندهای FSS است. همچنین فرکانس‌های دروازه‌های زمینی در دو بخش از باند Ka قرار دارد. شرح کامل فرکانس‌های اسپیس‌ایکس در جدول ۲-۴- و شکل ۲-۶- نشان داده شده است.

جدول ۲-۴- خلاصه کانال‌های مورد استفاده در منظومه استارلینک[7]

	پهنای باند کانال	تعداد کانال	ضریب استفاده دوباره	کل پهنای باند
Downlink /User	250 MHz	8	4-5	2000 MHz
Uplink / User	125 MHz	4	4-5	500 MHz
Downlink /Gateway	250 MHz	9	1	2250 MHz
Uplink / Gateway	500 MHz	8	1	4000 MHz
Downlink / TTC	----	----	----	150 MHz
Uplink / TTC	----	----	----	150 MHz



شکل ۲-۱۶- فرکانس‌های مورد استفاده در منظومه استارلینک[6]

۲-۵-۴-۵. بودجه لینک

در جدول ۲-۵- بودجه لینک برای ارتباط ماهواره‌های استارلینک با دروازه‌های زمینی و کاربران آورده شده است. پارامترهای ستاره‌دار در جدول ۲-۵- بر اساس فایلینگ اسپیس‌ایکس در کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا تعیین شده‌اند. سایر پارامترها بر اساس ارزیابی‌های موجود در مقاله [7] تعیین شده‌اند.

جدول ۲-۵- بودجه لینک ماهواره استارلینک با کاربر زمینی و دروازه‌ها [7]

پارامتر	Gateway	User
فرکانس*	28.5 GHz	13.5 GHz
پهنای باند*	500 MHz	250 MHz
قطر آنتن فرستنده *	3.5 Meter	
بهره آنتن گیرنده*	40.9 dBi	37.7 dBi
نوع مدولاسیون	256 APSK	16 APSK
EIRP	68.4 dBW	36.7 dBW
فاصله مسیر	1684 Km	1684 Km
زاویه ارتفاع*	40º	40º
تضعیف فضای آزاد[1]	186.1 dB	179.6 dB
تلفات اتمسفری	2.9dB	0.53 dB
نرخ داده	2682.1 Mbps	674.3 Mbps

۲-۵. منظومه وان‌وب

اولین گزارش از ابرمنظومهٔ ماهواره‌ای برای سرویس اینترنت به فوریه ۲۰۱۴ باز می‌گردد که شایعه شده بود، گوگل قصد راه‌اندازی منظومه‌ای به تعداد ۱۶۰۰ ماهواره برای پوشش زمین دارد. در سال ۲۰۱۴ شرکت WordVu با حدود ۳۰ کارمند شروع به کار نمود. برخی از کارمندان گوگل که در سال ۲۰۱۳ در شبکه O3B مشغول به فعالیت بودند، به این شرکت پیوستند. سرشناس‌ترین این افراد گرگ وایلر بود. او در حال حاضر مدیرعامل WordVu می‌باشد. در جون ۲۰۱۴ شرکت WorldVu که بعدا به نام وان‌وب تغییر نام داد، طیف فرکانسی مربوط به شرکت اسکای‌بریج[2] که پیش از این ورشکسته شده بود را خریداری

1 Free Space Path Loss (FSPL)
2 SkyBridge

نمود. اسکای بریج در سال ۲۰۰۰ برای راه‌اندازی سرویس اینترنت ماهواره‌ای تلاش نمود اما موفق به این کار نشد.

در ماه می ۲۰۱۴ در طرح اولیه وان‌وب، ۲۰ ماهواره در ۲۰ مدار مختلف برای پوشش سراسری اینترنت ماهواره‌ای در نظر گرفته شد. در ماه نوامبر ۲۰۱۴ در گزارشی در وال‌استریت ژورنال عنوان شد، وایلر مدیرعامل وان‌وب و ماسک مدیرعامل اسپیس‌ایکس در حال بررسی ساخت کارخانه‌ای برای تولید ماهواره‌های ارزان قیمت در تعداد بالا هستند. بر طبق این گزارش پرتابگر این پروژه از طریق اسپیس‌ایکس تأمین می‌شود و کارخانه مورد نظر در فلوریدا یا کلرادو خواهد بود. در نوامبر ۲۰۱۴ Worldvu مناقصه‌ای را برای ساخت ۹۰۰ ماهواره با وزن ۱۲۵ کیلوگرم منتشر کرد. شرکت‌های تولیدکننده از جمله ایرباس، سیستم‌های فضایی لاکهد مارتین، تالس آلینا فضایی[1] OHB SE, و SSL[2] به این مناقصه پاسخ دادند. تلاش برای تولید چندین ماهواره در ماه، با قیمت کمتر از پانصد هزار دلار از جمله مسائل مهم در این مناقصه بود. وان‌وب اعلام کرد که قصد دارد با داوطلب برنده، سرمایه‌گذاری مشترک برای این پروژه ایجاد کند.

در ژانویه ۲۰۱۵ وال استریت ژورنال گزارش داد که مجموعه وان‌وب توانسته بودجه از گروه ویرجین[3] و کوآل‌کام[4] برای ساخت منظومه تأمین نماید. همچنین در این گزارش مشخص شده که اسپیس‌ایکس سرمایه‌گذاری با وان‌وب نخواهد داشت. تنها چند روز بعد از این گزارش ایلان ماسک منظومه اسپیس‌ایکس را در سیاتل واشنگتن با هدف ارایه خدمات اینترنتی و خدمات پشتیبان اینترنت معرفی نمود.

در طرح اولیه، ماهواره‌های وان‌وب در حدود ۱۱۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده بود. در حقیقت وزن این ماهواره دقیقا مشابه وزن ماهواره‌های Skybox می‌باشد که گوگل در اگوست ۲۰۱۴ صاحب آن شده بود. در ژوئن ۲۰۱۵ وان‌وب با Arianespace برای ۲۱ پرتاب چند ماهواره‌ای از سال ۲۰۱۷، قرارداد امضا کرد. همچنین با شرکت Virgin Galactic برای ۳۹ پرتاب تک ماهواره‌ای قرارداد بست. در ژوئن ۲۰۱۵ شرکت ایرباس برای ساخت

1 Thales Alenia Space
2 Space Systems/Loral
3 Virgin Group
4 Qualcomm

ماهواره‌ها انتخاب شد. در همان سال شرکت ارتباط هیوز بر اساس یک سرمایه‌گذاری مشترک تصمیم به تولید سیستم‌های شبکه زمینی برای وان‌وب گرفت.

در دسامبر ۲۰۱۶ گروه سافت‌بانک[1] شرکت خدمات مخابراتی ژاپنی، تصمیم به سرمایه‌گذاری یک میلیارد دلاری بر روی وان‌وب گرفت که بدین ترتیب این مجموعه بزرگترین سهامدار وان‌وب شد که ۴۰ درصد سهم آن را در اختیار دارد. ۲۰۰ میلیون دلار دیگر در اختیار سهامداران دیگر شامل کوآل‌کام، ایرباس و گروه ویرجین می‌باشد. در فوریه سال ۲۰۱۷ وان‌وب اعلام کرد که بیشتر ظرفیت ارتباطی ۶۴۸ ماهواره اولیه خود را به فروش رسانده است و با اضافه کردن ۱۹۷۲ ماهواره اضافی سعی در چهار برابر کردن منظومه ماهواره‌ای خود دارد. در این سال با افزایش سرمایه انجام شده، کل سرمایه وان‌وب به ۱,۷ میلیارد دلار افزایش یافت. در مارس ۲۰۱۷ وان‌وب درکمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا اقدام به فایلینگ ۲۰۰۰ ماهواره در باند V نمود. باندی که پیش از این در خدمات ارتباطی مورد استفاده قرار نگرفته بود. این فایلینگ شمال ۷۲۰ ماهواره در مدار لئو ۱۲۰۰ کیلومتری و ۱۲۸۰ ماهواره در مدار مئو بود. وان‌وب در آن سال توانست مجوز ارایه خدمات خود را براساس نظام قبلی کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا بدست آورد. بعد از وان‌وب کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا یک برنامه زمان‌بندی برای منظومه‌ها در نظر گرفت.

در آگوست ۲۰۱۸ اعلام شد که اولین پرتاب ماهواره وان‌وب به سال ۲۰۱۹ منتقل شده است. در برنامه فعلی قرار است، تمامی ماهواره‌ها نهایتا تا ۲۰۲۷ به صورت آنلاین مورد بهره‌برداری قرار گیرند. در فوریه ۲۰۲۱ وان‌وب، ۶ ماهواره اول از ۶۴۸ ماهواره (۶۰۰ ماهواره فعال و ۴۸ ماهواره ذخیره) را از مرکز فضایی گیانا[2] در فرانسه با موشک روسی Soyuz-2 ST-B در مدار قرار داد. در همان روزها وان‌وب اعلام کرد که دو قرارداد با شرکت تالیا با مسئولیت محدود[3] برای ارایه خدمات در خاورمیانه و آفریقا و با Intermatica S.p.A برای ارایه خدمات در اروپا امضا کرده است و در حقیقت به این شکل وارد فرآیند تجاری‌سازی شده است.

1 Softbank
2 Guiana Space Centre
3 Talia Ltd

در مارس ۲۰۲۰ وان‌وب پس از ایجاد مشکل در جذب سرمایه برای تکمیل ساخت و استقرار شبکه به دلیل بیماری همه‌گیر ناشی از ویروس کرونا، اعلام ورشکستگی کرد. با این وجود با همکاری دو مجموعه Bharti Global و دولت انگلیس و سرمایه‌گذاری مشترک یک میلیارد دلاری توسط آن‌ها، وان‌وب در ۳ ژانویه ۲۰۲۰ از ورشکستگی فصل ۱۱ خارج شد. در ژانویه ۲۰۲۱، وان‌وب اعلام کرد که بودجه بیشتری از سافت‌بانک و هیوز و یوتل‌سَت[1] ، تأمین کرده است. این شرکت تا پایان ۲۰۲۱ بیش از ۴۰۰ ماهواره در فضا خواهد داشت.

۲-۵-۱. سرمایه‌گذارها

چنانکه عنوان شد، بنیان‌گذار و طراح ایدهٔ وان‌وب، گرگ وایلر است. وی فردی آمریکایی متولد سال ۱۹۶۹ می‌باشد. وایلر در حدود هفت سال در کشورهای آفریقایی در زمینه فراهم کردن خدمات مخابرات سلولی فعالیت داشته است. یکی از سرمایه‌گذاران وان‌وب، دولت آفریقایی روآندا است که شاید به علت حضور وایلر در این کشور، زمینه‌سازی برای این سرمایه‌گذاری صورت گرفته است. وایلر در سال ۲۰۰۷ مجموعه O3b Network Ltd را راه‌اندازی کرد. وی در مصاحبه‌ای، ایدهٔ ایجاد منظومه‌های ماهواره‌ای برای پوشش نقاط دورافتاده را مربوط به زمان کارکردن در روستاهای روآندا برای ایجاد خدمات مخابراتی می‌داند. به نظر می‌رسد، وایلر در ابتدا سعی داشته در پروژه O3b و با همکاری گوگل طرح منظومه ماهواره را برای پوشش اینترنت عملی سازد. سپس این مسئله را از طریق همکاری شرکت WorldVu و اسپیس‌ایکس دنبال کرده است و در نهایت منظومه را به نام وان‌وب به صورت مستقل پیش برده است.

دفتر مرکزی شرکت WorldVu در لندن است و دارای اداراتی در کالیفرنیا، فلوریدا، ویرجینیا، دوبی و سنگاپور است. برخلاف اسپیس‌ایکس که متکی به بودجه و توان عملیاتی شرکت خود است؛ وان‌وب یک شرکت استارت‌آپی است و شیوه مدیریت آن با جمع‌آوری سرمایه‌گذاری از سراسر دنیا صورت می‌پذیرد. ماهواره‌های منظومه وان‌وب توسط ایرباس تولید می‌شوند. سرمایه‌گذاری اولیه وان‌وب پس از تاسیس شرکت کوآل‌کام و مجموعه انگلیسی ویرجین صورت گرفته است. پس از مدتی دو مجموعه ایرباس و سافت‌بانک به

1 Eutelsat

سهامداران شرکت افزوده شدند. در حال حاضر بیشترین سرمایه‌گذاری در این پروژه را مجموعه سافت‌بانک در کشور ژاپن صورت داده است که بیش از ۳۰ درصد سهام شرکت را در اختیار دارد.

وان‌وب همچنین کار را با شرکت‌های مختلف تقسیم نموده است به این شکل که مجموعه ایرباس در حال تولید ماهواره است. ایستگاه‌های زمینی و تجهیزات دروازه‌های زمینی و آنتن‌های کاربران توسط کوآل‌کام و با همکاری هیوز تولید می‌شود. همچنین اینتل‌سَت نیز در شرکت وان‌وب همکاری می‌نماید که می‌تواند دورنمایی از هماهنگی و همکاری منظومه وان‌وب با منظومه‌های مدار ژئو اینتل‌سَت را در نظر گرفت. لیست کامل سرمایه‌گذاران وان‌وب، که یازده شرکت می‌باشد، در جدول ۲-۶- آورده شده است.

جدول ۲-۶- لیست سرمایه‌گذاران شرکت وان‌وب در یک نگاه [10]

میزان سرمایه‌گذاری	معرفی شرکت	نام شرکت	نام سرمایه‌گذار	
۱٫۵ میلیارد دلار	شرکت فعال در زمینه‌های اپراتوری و مخابرات در ژاپن	SoftBank	Softbank	1
	شرکت آمریکایی فعال در حوزه فن‌آوری	Qualcomm	Qualcomm Technologies	2
۵۵۰ میلیون دلار	تولیدکننده چند ملیتی و اروپایی ایرباس	AIRBUS	Airbus	3
	مجموعه‌ای انگلیسی از شرکت‌های فعال در بخش‌های مختلف	Virgin	Virgin Group	4
	مجموعه‌ای از شرکت‌های حوزه مخابرات و فن‌آوری اطلاعات در مکزیک	GRUPO SALINAS	Grupo Salinas	5
۱٫۲۵ میلیارد دلار	دولت رواندا در آفریقا		The government of Rwanda	6
	مجموعهٔ آمریکایی کوکاکولا	The Coca-Cola Company	Coca Cola	7
	اپراتور ماهواره آمریکایی	INTELSAT Closer, by far	Intelsat	8

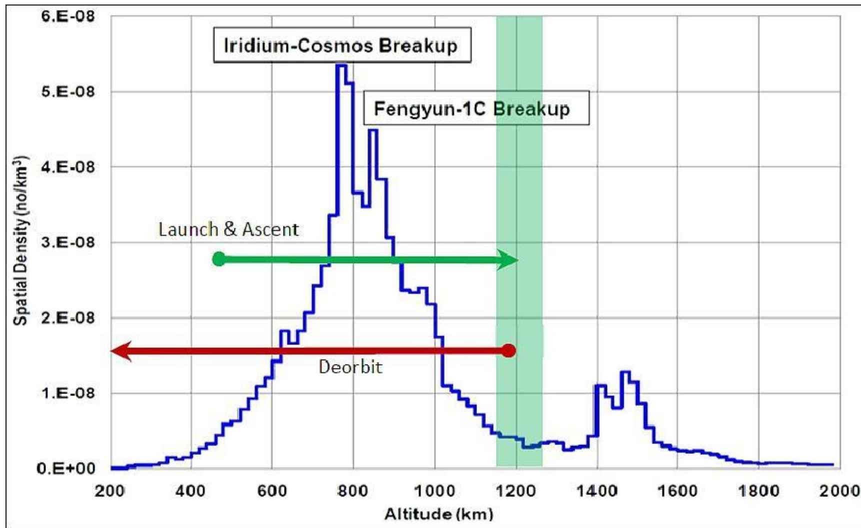
میزان سرمایه‌گذاری	معرفی شرکت	نام شرکت	نام سرمایه‌گذار	
	شرکت مخابراتی و ماهواره‌ای آمریکا	ECHOSTAR	EchoStar	9
	شرکت فراهم‌کننده سرویس اینترنت ماهواره‌ای پرسرعت و تجهیزات ارتباطی زمینی در آمریکا	HUGHES An EchoStar Company	Hughes Communications	10
	شرکت هندی در زمینه‌های مخابراتی و سایر فعالیت‌های خدماتی	bharti	Bharti Enterprises	11
۴۵۰ میلیون دلار			کمک‌های مالی ناشناخته	12
۳,۴ میلیارد دلار	جمع کل سرمایه‌گذاری‌ها			

۲-۵-۲. ماهواره‌ها و بخش فضایی

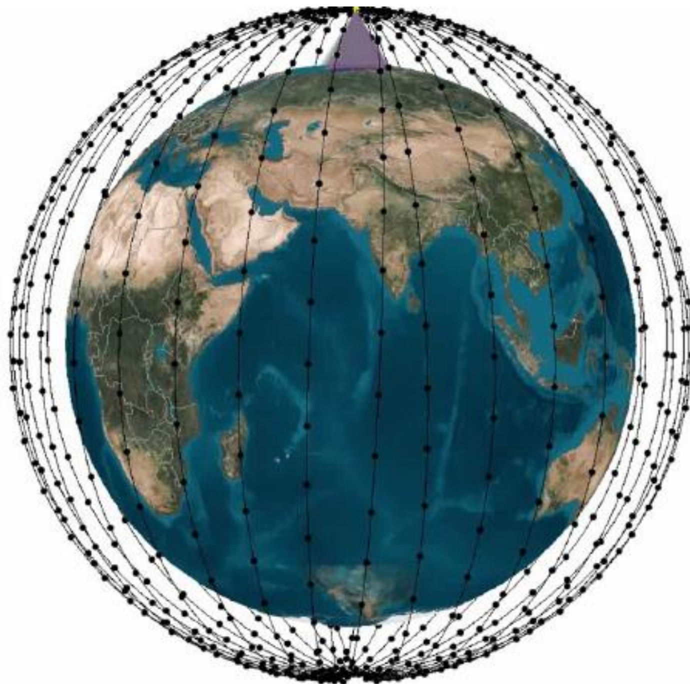
تعداد ماهواره‌های وان‌وب ۶۴۸ عدد می‌باشد که در ۱۸ مدار قطبی در فاصله ۱۲۰۰ کیلومتری قرار می‌گیرند. مدار ۱۲۰۰ کیلومتری وان‌وب با توجه موقعیت پسماندهای فضایی انتخاب شده است. شمایی از موقعیت پسماندهای فضایی بر حسب ارتفاع درشکل ۲-۱۷- آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، وان‌وب منطقه‌ای که کمترین پسماند فضایی را دارد برای موقعیت قرارگیری ماهواره‌ها انتخاب کرده است.

وان‌وب در نهایت تعداد ماهواره‌های منظومه خود را چهار برابر می‌کند و حدود ۱۹۷۲ ماهواره در آینده به منظومه اضافه می‌نماید. از این تعداد ۶۰۰ ماهواره در حال کار و ۴۸ ماهواره ذخیره خواهند بود. این ماهواره‌ها در ۱۸ مدار قطبی مطابق شکل ۲-۱۸- زمین را پوشش خواهند داد. لذا در هر مدار قطبی ۳۶ ماهواره حضور خواهد داشت. صفحه مدارهای انتخابی دارای زاویه انحراف[1]، ۸۷ درجه‌ای با خط استوا هستند. پوشش منظومه وان‌وب در شکل ۲-۱۹- آورده شده است.

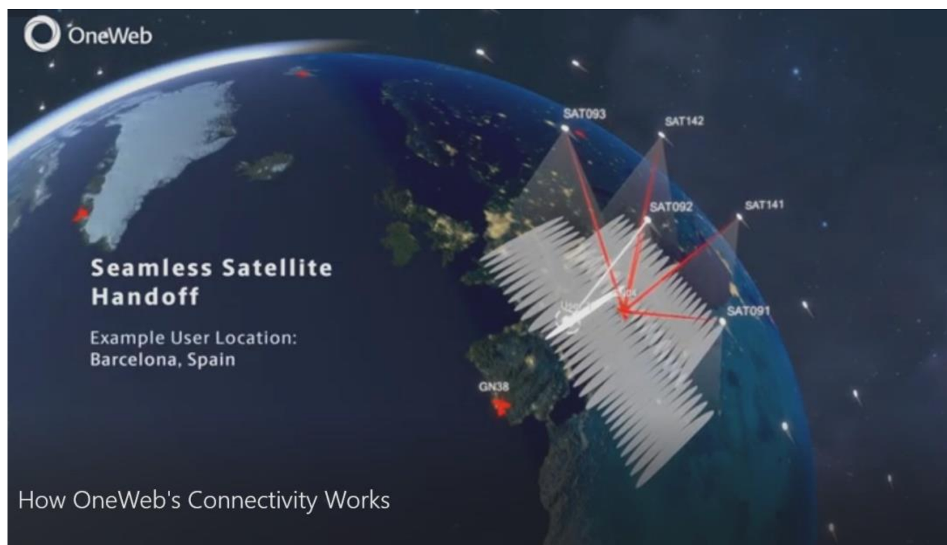
1 Inclination



شکل ۲-۱۷- موقعیت قرارگیری ماهواره‌های وان‌وب نسبت به پسماندهای فضایی [12]



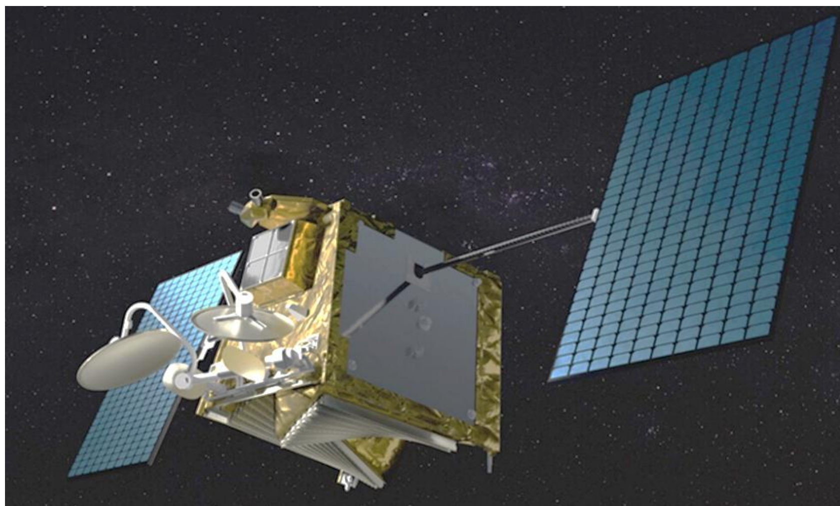
شکل ۲-۱۸- چینش مداری ماهواره‌های وان‌وب [10]



شکل ۲-۱۹- پوشش سلولی در سراسر زمین با استفاده از ابرمنظومهٔ وان‌وب[10]

ابعاد ماهواره‌های وان‌وب در حدود 0.8 ×0.8 ×0.95 متر مکعب و وزن تقریبی آن‌ها ۱۵۰ کیلوگرم است. شمایی از این ماهواره در شکل ۲-۲۰- آورده شده است. معماری ماهواره‌های وان‌وب از نوع معماری مرسوم ترانسپوندرهای شفاف[1] (لوله خمیده) می‌باشد. تمام ماهواره‌ها دارای ۱۶ پرتو بیضی‌گون غیرچرخشی هستند. کاربری که دارای زاویه فراز ۵۵ درجه است، می‌تواند به طور مستقیم با ماهواره در ارتباط باشد. علاوه بر این هر ماهواره دارای دو آنتن قابل چرخش گیمبالی (gimballed) برای ارتباط با دروازه‌ها می‌باشد که یکی از این آنتن‌ها فعال و دیگری، به عنوان پشتیبان عمل می‌کند. ماهواره‌ها با برنامه جبران‌سازی پسماندهای فضایی هماهنگ هستند و ۲۵ سال پس از پرتاب باید به جو زمین باز گردند.

1 Bent pipe



شکل ۲-۲۰- ماهواره‌های وان‌وب مورد استفاده در منظومه[12]

ماهواره‌های وان‌وب در مجموعه‌ای در فلوریدا تولید می‌شوند. این مجموعه در سال ۲۰۱۲ از طریق قرارداد ما بین وان‌وب و ایرباس ایجاد گردید و به نام OneWeb Satellites شناخته می‌شود. در حقیقت این مجموعه یکی از اولین شرکت‌هایی است که به تولید انبوه ماهواره می‌پردازد در حالی که پیش از این ماهواره‌ها برای کاربرد خاص و تک موردی طراحی می‌شدند. این مجموعه دارای یک زنجیره تأمین صنعتی متشکل از ۴۰ تأمین‌کننده و سیستم‌های اتوماسیون و خطوط مونتاژ و تولید ماهواره با سرعت بالا هستند. بر طبق اعلام سایت این مجموعه یک ماهواره سنتی که ممکن است، ده‌ها میلیون دلار هزینه داشته باشد و ساخت آن سال‌ها طول بکشد، را با کمتر از ۱۰ درصد هزینه و در زمان کمتر از یک روز ایجاد می‌نماید.

این شرکت مدعی شده است که فقط برای برنامه وان‌وب فعالیت نخواهد کرد. از طریق همکاری با ایرباس، یک بستر استاندارد و رابط کاربری را به بازار ارایه خواهد داد که می‌تواند با بسیاری از محموله‌های مختلف سازگار باشد. شمایی از کارخانه ساخت ماهواره‌ی وان‌وب در شکل ۲-۲۱- آورده شده است.

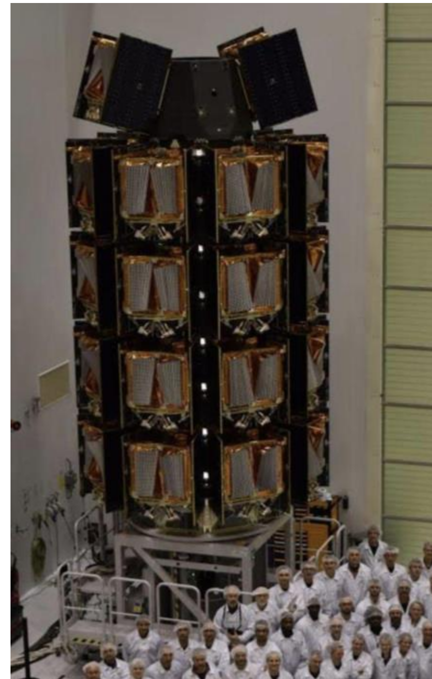




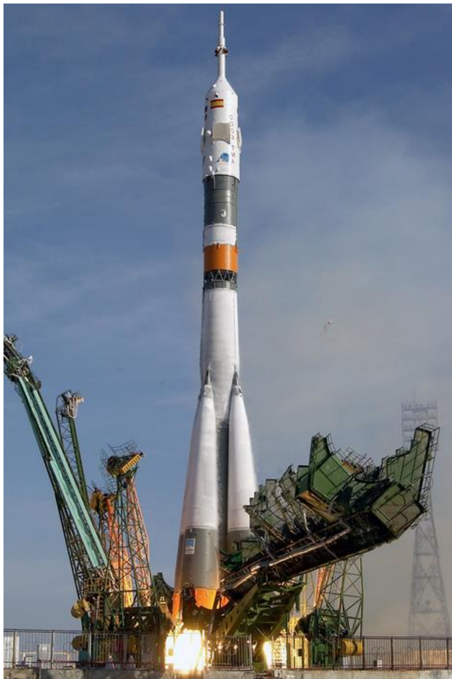


شکل ۲-۲۱- تصاویری از کارخانه تولید ماهواره وان‌وب در شهر فلوریدای آمریکا[12]

این شرکت در سال ۲۰۲۱ تقریبا به طور متوسط هر ماه یک پرتاب داشته است و با هر پرتاب ۳۴ تا ۳۶ ماهواره را در مدار قرار داده است. موشک مورد استفاده برای پرتاب، موشک روسی Soyuz FG/Faregat است که می‌تواند تا ۷۸۰۰ کیلوگرم را در هر پرتاب با خود حمل نماید. شمایی از این موشک در شکل ۲-۲۲- آورده شده است. همچنین در این شکل تصویر ارایه شده در وب‌سایت ایرباس از قرارگیری ۳۴ ماهواره وان‌وب در موشک برای پرتاب نشان داده شده است. در این تصویر ۱۶ ماهواره در نیم دایره و دو ماهواره در بالای موشک قرار گرفته‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، صفحات خورشیدی و آنتن‌های ماهواره‌های شکل ۲-۲۰- قابلیت جمع‌شوندگی برای قرارگیری بهتر در موشک را دارند.



الف)



ب)

شکل ۲-۲۲- الف) قرارگیری ۳۴ ماهواره وان‌وب در موشک ب) موشک Soyuz-2.1b/Fregat-M جهت پرتاب ماهواره‌ها در مدار [12]

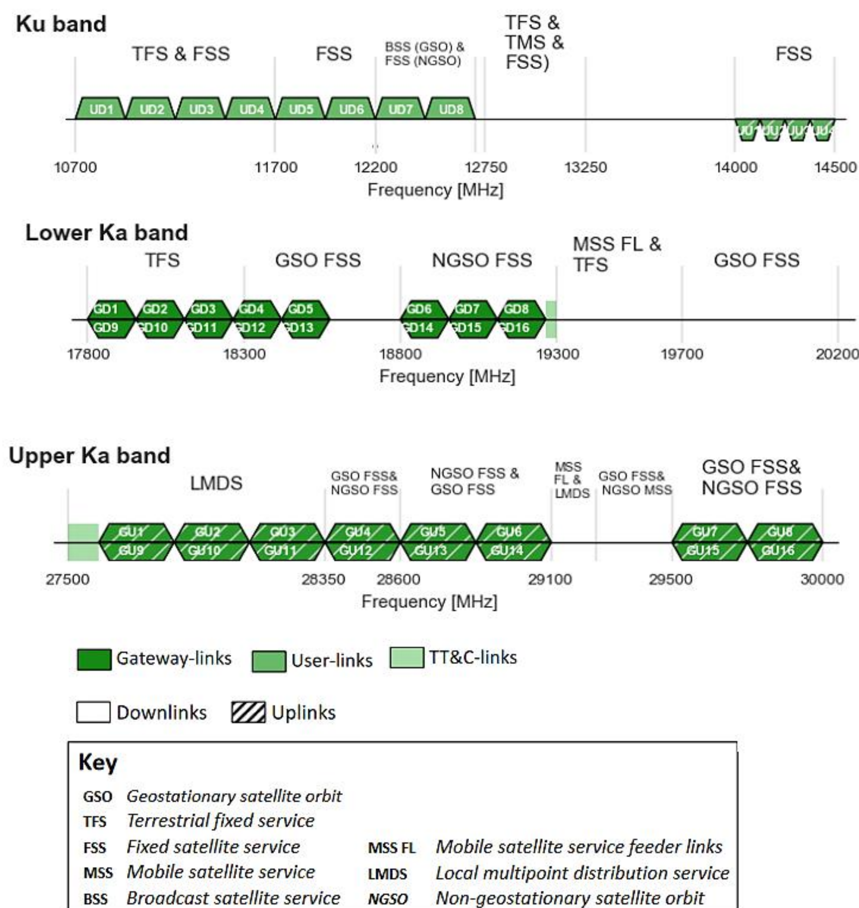
۲-۵-۳. باند فرکانسی وان‌وب

باندهای فرکانسی وان‌وب برای سرویس‌دهی در شکل ۲-۲۳- نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، وان‌وب در فایلینگ کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا از باندهای مرسوم Ku برای خدمات ثابت ماهواره‌ای(FSS) برای ارتباط با کاربر زمینی استفاده می‌نماید. همچنین وان‌وب باند Ka را برای ارتباط با دروازه‌های زمینی در نظر گرفته شده است. در شکل ۲-۲۳- نحوه ارتباط لینک‌های فراسو و فروسو در هر فرکانس نشان داده شده است. در این شکل فرکانس‌های بالای خط با پلاریزاسیون RHCP ارسال می‌شوند و فرکانس‌های پایین خط دارای پلاریزاسیون LHCP می‌باشند.

همچنین وان‌وب در سال ۲۰۱۷ فایلینگی در باند V در کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا داشته است. به نظر می‌رسد، این باند در فرآیند تکمیل منظومه مورد استفاده قرار گیرد. به صورت اجمالی باندهای فرکانسی وان‌وب در جدول ۲-۷- آورده شده است.

جدول ۲-۷- پهنای باند فرکانس‌های وان‌وب در یک نگاه [7]

	پهنای باند کانال	تعداد کانال	ضریب استفاده دوباره	کل پهنای باند	پلاریزاسیون
Downlink /User	250 MHz	8	2	2000 MHz	RHCP
Uplink / User	125 MHz	4	4	500 MHz	LHCP
Downlink /Gateway	155 MHz	16	1	2480 MHz	R/LHCP
Uplink / Gateway	250 MHz	16	1	4000 MHz	R/LHCP
Downlink / TTC	----	----	----	70 MHz	R/LHCP
Uplink / TTC	----	----	----	200 MHz	R/LHCP



شکل ۲-۲۳- باندهای فرکانسی وان‌وب [7]

۲-۵-۴. ایستگاه‌های زمینی و ترمینال کاربران

ترمینال‌های زمینی یکی از بخش‌های حیاتی در کسب و کار اینترنت ماهواره‌ای از طریق منظومه‌های لئو می‌باشد. یکی از دلایل اصلی شکست پروژهٔ گلوبال‌استار (که در دهه‌ی ۹۰ از منظومه‌های مخابراتی پیشرو بشمار می‌رفت) ترمینال‌های زمینی حجیم و گران قیمت آن بود. به همین دلیل شرکت‌های ارایه‌کننده اینترنت ماهواره تمام تلاش خود را برای طراحی

ترمینال‌های زمینی ارزان قیمت به کار برده‌اند. یکی از سیاست‌های وان‌وب جهت طراحی ترمینال‌های ارزان قیمت سرمایه‌گذاری مشترک با شرکت ارتباطات هیوز[1] می‌باشد که سابقه طراحی و تولید مودم‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی را دارد. آنتن‌های زمینی کاربران وان‌وب، آنتن‌های آرایه فازی ۳۶ در ۱۶ سانتی‌متری می‌باشد و پهنای باند فروسو ۵۰ مگابیت برثانیه توسط آن تضمین می‌شود.

در سال ۲۰۲۰ وان‌وب درخواستی مبنی بر به کارگیری ۱,۵ میلیون ترمینال زمینی به کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا ارسال کرده است. این شرکت اعلام کرده ترمینال‌های زمینی طراحی شده، دارای قابلیت نشانه روی الکترونیکی می‌باشند که تا حد زیادی هزینه و ابعاد ایستگاه‌های زمینی را کاهش می‌دهد. آنتن‌های با هدایت الکترونیکی[2]سبک، فشرده و فاقد قطعات متحرک هستند. به همین دلیل آنها از لحاظ میزان خرابی (میانگین زمان بین خرابی‌ها)[3] عملکرد بهتری نسبت به آنتن‌های موجود (دارای هدایت مکانیکی) دارند که برای ارتباط با ماهواره‌های ژئو مورد استفاده قرار می‌گیرند. نکتهٔ قابل توجه این است که یک آرایه با هدایت الکترونیکی می‌تواند جهت پرتو را در زمان بسیار کوتاهی تغییر دهد. ساختار مورد نظر این آنتن در شکل ۲-۲۴- نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۴- ساختار مودم‌های دریافت‌کننده کاربر وان‌وب که با یک آنتن آرایه فازی مسطح طراحی شده‌اند.[10]

---
1 Hughes Communications
2 Electronic Scanned Array(ESA)
3 Mean Time Between failure(MTBF)

کاربران وان وب را گروه‌های مختلفی تشکیل می‌دهند. در حقیقت اینترنت پهن‌باند که در تمام کره زمین قابل دریافت باشد، می‌تواند مورد نیاز صنایع تجاری کوچک و متوسط، خانه‌ها، مدرسه‌ها و تمامی کاربران سلول‌های کوچک 5G باشد. همچنین این سرویس می‌تواند در وسایل نقلیه متحرک نظیر هواپیما، قطار، یا اول پاسخگوها (اورژانس، پلیس و امداد) مورد استفاده قرار گیرد. از دیگر کاربران این سرویس‌ها، بکهال شبکه‌های سلولی در نقاط دورافتاده و شرکت‌های تجاری و سازمانی نظیر حوزه نفت و انرژی می‌باشند. کاربران وان‌وب با یک آنتن ساده و مسطح، قابلیت اتصال به ماهواره را دارند که از منظومه سرویس خواهند گرفت. وان‌وب جهت گسترش کاربران خود همکاری با اینتل‌سَت و ایریدیوم را نیز آغاز نموده است. اینتل‌سَت به علت منظومه ژئو با پوشش سراسری می‌تواند بکهال منظومه وان‌وب باشد و همچنین پوشش‌دهی قطعی منظومه را تکمیل کند. همکاری ایریدیوم با وان‌وب برای ارایه سرویس در هر دو باند L و Ku می‌باشد.

در طرح وان‌وب بین ۵۰ تا ۶۰ دروازه زمینی در نظر گرفته شده است. محل تقریبی این دروازه‌ها در شکل ۲-۲۵- نشان داده شده است هرچند که ممکن است، این معماری تغییر نماید. از آنجایی که ماهواره‌ها دارای لینک ارتباطی مابین خودشان نیستند، خدمات و ارتباط فقط در محلی ارایه می‌شوند که کاربر و ایستگاه زمینی به صورت دید مستقیم در دسترس باشند.



شکل ۲-۲۵- محل‌های تقریبی ایستگاه‌های زمینی وان‌وب [12]

۲-۵-۵. بودجه لینک

در جدول ۲-۸- بودجه لینک برای ارتباط ماهواره وان‌وب با دروازه‌های زمینی و کاربران آورده شده است. پارامترهای ستاره‌دار در جدول ۲-۸- بر اساس فایلینگ وان‌وب در کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا تعیین شده‌اند. سایر پارامترها بر اساس ارزیابی‌های موجود در مقاله[7] تعیین شده‌اند. در ماهواره‌های وان‌وب ارتباط با دروازه‌ها در باند Ka توسط دو آنتن رفلکتوری ۲,۴ متری صورت می‌پذیرد. در حالی که ارتباط با کاربر توسط آنتن‌های آرایه فازی کوچک تعبیه شده روی ماهواره در باند Ku انجام می‌شود. اطلاعات تکمیلی در جدول ۲-۸- موجود می‌باشد. نحوه برقراری در منظومه وان‌وب در جدول ۲-۹- آورده شده است.

جدول ۲-۸- بودجه لینک ماهواره وان‌وب با کاربر زمینی و دروازه‌ها [7]

پارامتر	Gateway	User
فرکانس*	28.5 GHz	13.5 GHz
پهنای باند*	250 MHz	250 MHz
قطر آنتن فرستنده *	2.4 Meter	
بهره آنتن گیرنده*	37.8 dBi	38.3 dBi
EIRP *	63.2 dBW	34.6 dBW
نوع مدولاسیون	256 APSK	16 APSK
فاصله مسیر	1504 Km	1504 Km
زاویه ارتفاع*	55º	55 º
FSPL	185.1 dB	178.6 dB
تلفات اتمسفری	2.3dB	0.41 dB
نرخ داده	1341.1 Mbps	599.4 Mbps

جدول ۲-۹- نحوه برقراری ارتباط در منظومه وان‌وب[7]

	Downlink /Gateway	Downlink /User
تعداد پرتو	16	16
قابلیت چرخش	بله	خیر
قابلیت شکل‌دهی	خیر	خیر
پوشش هر پرتو	3100 km^2	75000 km^2
پهنای باند	155 MHz	250 MHz
EIRP	38 dBW	34.6dBW
پلاریزاسیون	R/LHCP	RHCP

۲-۵-۶. مشکل تأمین مالی در وان‌وب

در ۲۸ مارس ۲۰۲۰ شرکت وان‌وب، پس از اعلام عدم تأمین منابع مالی و تأمین سرمایه لازم به دنبال شیوع ویروس جدید کرونا و تلاطم در بازار سرمایه با چالش جدی مواجه شده است. لذا این استارت‌آپ در تاریخ مذکور با موافقت سرمایه‌گذار اصلی خود، اپراتور مخابراتی سافت بانک ژاپن، طبق قانون "فصل ۱۱" آمریکا، اعلام ورشکستگی کرد. اگرچه این پایان رؤیای وان‌وب نبود؛ طبق قانون فصل ۱۱[۱]، شرکت ورشکسته شانس دوباره برای ادامه فعالیت می‌یابد. این شرکت تا تاریخ مذکور نزدیک به ۷۴ ماهواره به فضا فرستاده و نیمی از ایستگاه‌های زمینی خود را تکمیل کرده و توانسته بود، سرعت دسترسی بیش از Mbps ۴۰۰ با تأخیر ۳۲ میلی‌ثانیه ارایه دهد. همچنین شرکت مذکور شاهد درخواست‌های بسیاری از صنایع خودروسازی، دریانوردی، شرکت‌های هواپیمایی در آن زمان بود.

---

۱ فصل ۱۱ ورشکستگی تجاری، فرآیندی قانونی است که توسط آن یک کسب وکار ممکن است ورشکستگی را اعلام کند، اما همچنان به کسب وکار تحت نظارت ادامه می‌دهد. این روند به نام "سازماندهی مجدد" نامیده می‌شود، روند ورشکستگی فصل ۱۱ از طریق یک سیستم حقوقی (بخشی از دادگاه ایالات متحده آمریکا) اجرا می‌شود، که براساس آن، کسب و کار از پرداخت تمام یا بخشی از بدهی‌هایش معاف می‌شود.

در حقیقت شرکت وان‌وب برای پیشبرد پروژه خود نیازمند سرمایه‌گذاری خارجی بود و با شروع پاندمی کرونا، سهامداران اصلی شرکت از سرمایه‌گذاری بیشتر خودداری کردند. در جولای ۲۰۲۰، شرکت هندی برهتی از سرمایه‌گذاران وان‌وب و دولت انگلستان هرکدام ۵۰۰ میلیون دلار در این شرکت سرمایه‌گذاری کردند. پس از آنها شرکت‌های سافت‌بانک، هیوز و یوتل‌سَت نیز در شرکت سرمایه‌گذاری قابل توجهی را انجام دادند و این سرمایه‌گذاری‌ها باعث شد که در نوامبر ۲۰۲۰ وان‌وب از ورشکستگی خارج شود و از اواخر سال ۲۰۲۰ پرتاب‌های خود را از سر بگیرد. وان‌وب در سال ۲۰۱۹، شش پرتاب موفق، در سال ۲۰۲۰، ۱۰۴ پرتاب موفق و تا جولای ۲۰۲۱، ۱۴۴ پرتاب موفق داشته است و با این روند تا پایان ۲۰۲۱، ۴۲۶ ماهواره در مدار خواهد داشت[10].

۲-۶. منظومه‌های O3b شرکت SES

منظومه‌های O3b تنها منظومه‌های فعال در مدار مئو برای خدمات پهن‌باند می‌باشند. این منظومه توسط شرکت لوکزامبورگی SES طراحی شده است. شرکت SES در واقع دو منظومه در مدار مئو دارد که نام آنها به ترتیب O3b و O3b mPOWER می‌باشند. O3b mPOWER در واقع برنامه توسعه‌ای برای منظومه موجود O3b می‌باشد.

شرکت مخابرات لوکزامبورگی SES S.A دومین اپراتور ماهواره‌های مخابراتی در جهان شناخته می‌شود که در سال ۱۹۸۵ تاسیس شده است و محدوده فعالیت این شرکت کل جهان می‌باشد. SES یکی از اپراتورهای ماهواره‌ای با ۷۰ ماهواره در دو مدار ژئو و مئو است [13]. مجموعه ناوگان SES به ماهواره‌های آسترا[1] که پوشش تلویزیونی اروپا را مهیا می‌کنند و یا O3b ماهواره‌های در مدار مئو برای ارسال داده خلاصه نمی‌شود بلکه نام‌هایی مانند AMC، Ciel، NSS، Quetzsa و یاه‌سَت در مجموعه ماهواره‌ای SES قرار دارند. این شرکت در حال حاضر ۷۰ درصد از کره زمین با حدود ۹۹ درصد جمعیت روی زمین را پوشش می‌دهد. این اپراتور سهام‌دار چندین اپراتور ماهواره‌ای و چندین شرکت ارایه دهنده خدمات ماهواره‌ای می‌باشد. شرکت SES خدمات ماهواره‌ای خود را به سازمان‌های دولتی، کانال‌های

---

1 Astra

تلویزیونی، ایستگاه‌های رادیویی و همچنین به بخش خصوصی در سراسر جهان ارایه می‌دهد [13].

ماهواره‌های SES در سه دسته قرار می‌گیرند[14]:

۱. ماهواره‌ها با پوشش بزرگ
- یک منظومه ۵۰ تایی از ماهواره با پوشش سراسری
- دارای پوشش سراسری در مناطق با چگالی جمعیت پایین
- ارایه خدمات پخش محتوا برای مشترکین تجاری در مناطق دورافتاده
- ارایه خدمات به مراکز داده و مشتریان مختلف
- استفاده از باندهای فرکانسی C، Ku و Ka

۲. ماهواره‌های ژئو پرظرفیت
- سه ماهواره پرظرفیت ژئو[1] با یک plan اضافی
- برقراری ارتباطات برای ارسال ویدیو و انتقال داده
- کاهش هزینه به ازای هر مگاهرتز و در نتیجه بهبود شرایط برای خدمات داده‌ای
- استفاده از فرکانس‌های Ku، Ka و Q/V

۳. ماهواره‌های مدار مئو (O3b)
- ۲۰ ماهواره در مدار مئو و ۷ ماهواره در حال ساخت
- ظرفیت بیش از ۲ گیگابیت به ازای هر پرتو در مدار مئو با تاخیر کمتر از ۱۵۰ میلی‌ثانیه
- بهینه شده برای کاربردهای حساس به تاخیر مانند ویدیو کنفرانس و صدا
- استفاده از فرکانس‌های Ka و Q/V

SES به ترتیب از طریق دو واحد تجاری به نام‌های SES Video و SES Networks به بازارهای ویدیو محور و داده محور از طریق ترکیبی از ماهواره مدار ژئو و مئو، خدمات ارایه می‌دهد. این شرکت تا سال ۲۰۱۹ با ۵۲ ماهواره ژئو، خدمات تلویزیون مستقیم به منزل

1 GEO- High-throughput satellite (HTS)

(DTH[1]) را به بیش از ۳۶۷ میلیون خانه (بیش از یک میلیارد جمعیت جهان) و پخش بیش از ۸۳۰۰ کانال تلویزیونی (۲۹۰۰ کانال HD و ۵۹ UHD) از طریق ماهواره در سراسر جهان انجام داده است. به طور روزانه، SES مدیریتِ پخش بیش از ۵۲۵ کانال و ۸۴۰۰ ساعت ویدیو آنلاین (از جمله بیش از ۶۲۰ رویدادهای ورزشی و رویدادهای زنده) را انجام می‌دهد.

در مورد بازار داده محور شرکت SES می‌توان گفت که این شرکت با استفاده از ظرفیت ماهواره‌های با پوشش وسیع و ماهواره‌های پرظرفیت در مدار ژئو، مئو خود به بیش از ۳۰۰ مشتری تجاری، و ۶۲ ارگان دولتی در ۲۸ کشور سرویس داده است [13].

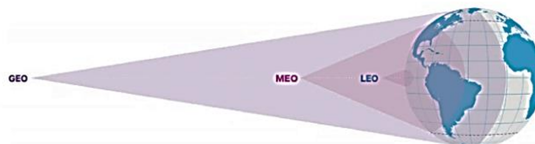
به طور خلاصه ویژگی‌های ماهواره در مدارهای ژئو، مئو و لئو از نظر تاخیر، منطقه پوشش، تعداد دروازه‌ها، نیاز به ردیابی و بلوغ فن‌آوری در شکل ۲-۲۶- نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است، یک منظومه در مدار مئو تقریبا با تاخیری معادل ۱۵۰ میلی‌ثانیه، منطقه وسیعی را پوشش می‌دهد و همچنین دارای تعداد متعددی دروازه برای انتقال ترافیک می‌باشد و زمان ردیابی تقریبا ۱ ساعت برای هر ماهواره طول می‌کشد و تقریبا با ۶ ماهواره می‌توان یک پوشش سراسری ایجاد نمود و از طرفی فن‌آوری برای ساخت و ایجاد شبکه با ماهواره‌های مئو دارای بلوغ کافی می‌باشد بنابراین با توجه به مزایای ماهواره‌های مئو، دارای اولویت در راه‌اندازی نسبت به ماهواره‌های مدار لئو قرار گرفتند. به طور خلاصه مزایای ماهواره در مدار مئو را نسبت به مدارهای ژئو و لئو می‌توان به صورت زیر برشمرد [15]:

- تاخیر در حدود ۱۲۵ میلی‌ثانیه (بیشتر از مدار لئو ولی کمتر از مدار ژئو است)
- دوره مداری[2] طولانی‌تر از مدار لئو منظومه کوچکتر مورد نیاز برای 'دید مداوم'
- تله‌متری، سیستم کنترل و ردیابی ارزانتر نسبت به ماهواره‌های مدار لئو
- زاویه نگاه بالاتر [3] نسبت به ماهواره‌های مدار لئو
- طول عمر طولانی‌تر از ماهواره‌های مدار لئو
- شیفت داپلر کمتر نسبت به ماهواره‌های مدار لئو

1 Direct to the Home
2 Orbital period
3 Look angle

- ایجاد ازدحام کمتر و کاهش پسماند فضایی در مدار لئو

THREE TYPES OF ORBITS
Geosynchronous Earth Orbit (GEO), Medium Earth Orbit (MEO) and Low Earth Orbit (LEO)



GEO	NGSO MEO	NGSO LEO
• 36,000km	• ~ 8,000km	• ~ 1,000km
• Medium latency (~700 msec)	• Low latency (~150 msec)	• Very low latency (~50 msec)*
• Very large Earth view	• Large Earth view	• Small Earth view
• Few fixed gateways	• Several flexible gateways	• Numerous local gateways
• Stationary antennas (3 satellites for global coverage)	• 1-hour slow tracking (6 satellites for coverage)	• 10-minute fast tracking (100's-1,000's needed for coverage)
• Proven, deployable technology	• Proven, deployable technology	• Technology still in development for satellite internet

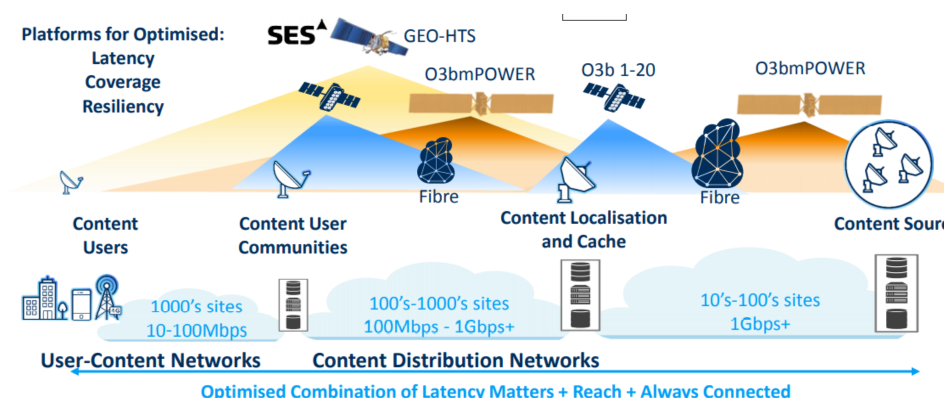
شکل ۲-۲۶- ویژگی‌های ماهواره در مدارهای ژئو، مئو و لئو از نظر تاخیر، منطقه پوشش، تعداد دروازه‌ها، زمان ردیابی و بلوغ فن‌آوری [15]

با توجه به ویژگی‌های منظومه ماهواره مئو، مدیران اپراتور SES تصمیم گرفتند که منظومه غیرژئو خود را راه‌اندازی نمایند که دلایل خود را به صورت زیر عنوان کرده‌اند:

- صحت عملکرد این منظومه‌ها از نظر فنی، عملیاتی و تجاری به اثبات رسیده است.
- کاهش هزینه پرتاب و ساخت ماهواره
- حرکت سریع به سمت دیجیتالی شدن در منطقه آمریکا به منظور پشتیبانی از 3G/4G/LTE/5G و وجود بازار کافی
- امکان ارایه سرویس با کیفیت فیبر
- امکان ارسال داده با استاندارد MEF اترنت ۲,۰[1]
- یکپارچه‌سازی شبکه‌های شهری و روستایی و امکان برقراری ارتباط شهروندان با سایر شبکه‌ها

1 Carrier-grade certified by MEF Carrier Ethernet 2.0

به طور کلی می‌توان گفت که شبکه شرکت SES که ترکیبی از ماهواره‌های ژئو و مئو است، یک ارتباط بهینه شده با تاخیر کم، پوشش سراسری را می‌تواند ایجاد کند. شمایی از این ارتباط و ترکیب در شکل ۲-۲۷- نشان داده شده است.



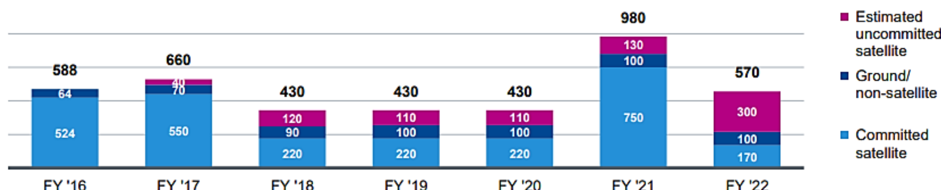
شکل ۲-۲۷- شبکه شرکت SES که ترکیبی از ماهواره‌های ژئو و مئو [20]

پس از راه اندازی موفق منظومه در مدار مئو مدیران شرکت تصمیم گرفتند که منظومه مدار مئو خود را توسعه دهند و دلیل اصلی تصمیم شرکت SES برای توسعه منظومه O3b و ایجاد منظومه O3b mPOWER را می‌توان در مسائل اقتصادی جستجو کرد. به طوری که از این تصمیم به عنوان"استراتژی برای بازگشت به رشد پایدار و سودآور" یاد می‌شود که دلایل آن را می‌توان در گزارش‌های مالی ۹ ماه از ۲۰۱۷ شامل (۳ ماهه آخر) این شرکت جستجو کرد که در آن آورده شده: "شرکت ۱۲,۲ درصد افزایش درآمد بعد از راه‌اندازی منظومه O3b داشته است." از طرفی دیگر طبق بررسی شرکت SES راه‌اندازی و نگهداری همزمان شبکه‌های ژئو و مئو نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری[1] کمتری دارند. چون بسیاری از تجهیزات بخش زمینی را می‌توان به صورت مشترک استفاده نمود. این موضوع در شکل ۲-۲۸- نشان داده شده است.

1 Capital expenditures (CapEx)

با توجه بررسی‌های صورت گرفته و گزارش‌های بین‌المللی مانند NSR و یا گزارش‌های وزارت دفاع امریکا، تا سال ۲۰۲۲ پیش‌بینی می‌شود که با توجه به شتابی که برای نیاز به دریافت خدمات ارتباطی ایجاد می‌شود، فرصت بازاری معادل ۱۷ میلیارد دلار برای خدمات و کاربردهای ماهواره‌ای به وجود بیاید که این شتاب برای برقراری ارتباطات در بخش‌های مختلف به شرح جدول ۲-۱۰- می‌باشد. با توجه به ظهور فن‌آوری مانند 5G، پیش‌بینی می‌شود که ۴۷ درصد رشد سالیانه در ترافیک این بخش به وجود بیاید، پس بکهالینگ شبکه ارتباطی موبایل به عنوان یک بازار بالقوه خوب برای منظومه‌های مئو محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر شرکت SES اقدام به اجرای یک پایلوت به منظور بررسی میزان موفقیت این منظومه‌ها در ارایه سرویس بکهالینگ نمود. بدین منظور پروژه‌ای با عنوان "ارایه سرویس بکهالینگ به اپراتورهای سیار در شهر ایکیتوس در پرو" توسط اپراتور SES اجرایی شد. در این پروژه شرکت با همکاری شرکتLatAm ISP Axesat اقدام به ارایه خدمت بکهالینگ شبکه موبایل با استفاده از ماهواره، برای ایجاد پوشش در مناطق دورافتاده کشور پرو با مدیریت شرکت مخابرات ENTEL نمود. مناطق تحت پوشش شامل مناطق صعب‌العبور و یا بدون زیرساخت مخابراتی بودند. ماهواره‌های O3b با پوشش پرتو نقطه‌ای به ارایه خدمات 4G/LTE با تاخیر کم مورد استفاده قرار گرفتند. نرخ داده ماهواره‌های پرظرفیت حداکثر به 1 Gbps به ازای هر پرتو در سایت‌های تکی رسید. در حال حاضر تمامی نقاط شهر اِکیتوس[1] دارای ارتباطی مشابه شهر لیما[2] با قابلیت دسترسی به شبکه‌های اجتماعی و سایر برنامه‌های کاربردی با تاخیر کم می‌باشد.

1 Iquitos
2 Lima



شکل ۲–۲۸– بهبود بهره‌وری CapEx با هم‌افزایی ژئو-مئو [15]

جدول ۲–۱۰– میزان رشد در تقاضا برای دریافت خدمات ارتباطی [15]

نوع مشتری	نوع سرویس مورد تقاضا	درصد رشد پیش بینی شده در سرویس مورد تقاضا
Fixed Data مراکز ثابت	Telco/MNO	+۴۷ درصد CAGR[1] در ترافیک موبایل تا سال ۲۰۲۱
	خدمات ابری	+۷۰ درصد رشد ترافیک IP مدیریت شده تا سال ۲۰۲۱
	سرویس تجاری	+۱۶۰ درصد رشد ترافیک اینترنت تا سال ۲۰۲۱
متحرک	انرژی	+۵۵,۰۰۰ ترمینال در حال دریافت سرویس تا سال ۲۰۲۱
	هوایی	+۱۲,۰۰۰ هواپیمای متصل تا سال ۲۰۲۱
	دریایی	+۷,۰۰۰ کشتی متصل تا سال ۲۰۲۱
دولتی	دولت آمریکا	+۱۲ درصد رشد بودجه نظامی تا سال ۲۰۲۱
	سایر خدمات دولتی	> 50 درصد افزایش در واحدهای UAV-ISR در حال دریافت سرویس تا سال ۲۰۲۱

۲–۶–۱. منظومه O3b موجود

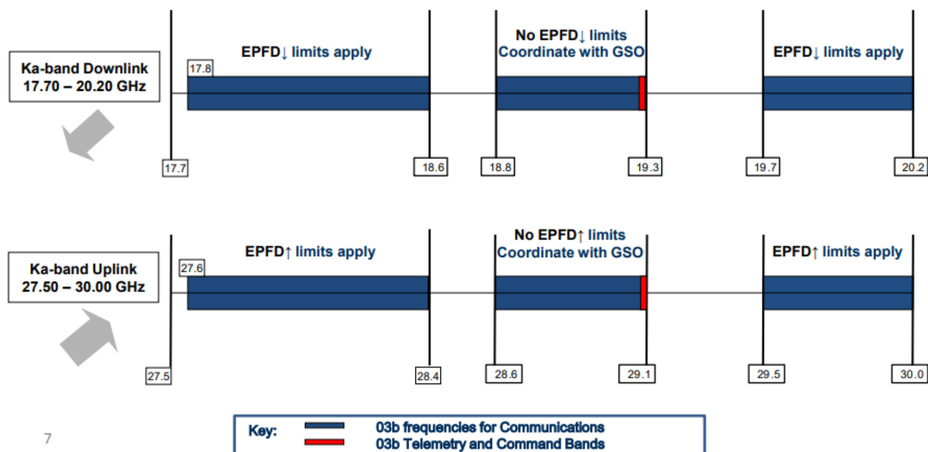
اولین منظومه شرکت SES با نام O3b برای ارایه یک سرویس کم تاخیر و مدیریت شده همانند فیبر در سال ۲۰۱۳ راه‌اندازی شد. منظومه O3b SES اولین و تنها منظومه در مدار

1 Compound annual growth rate (CAGR)

غیرژئو برای ارایه سرویس پهن‌باند با پوشش سراسر جهان می‌باشد. این منظومه دارای ۲۰ ماهواره استوایی در مدار مئو می‌باشد که از خدمات زیر پشتیبانی می‌کند[16]:

- بیش از ۱۵ میلیون کاربر نهایی در شبکه‌های تلفن همراه
- ارایه خدمات به چهار تا شش شرکت بزرگ نفت و گاز
- ارایه خدمات به چهار تا پنج شرکت بزرگ خطوط کروز
- قابلیت ارایه سرویس اتصال به ابرمنظومه برای میلیون‌ها نفر از مردم در سراسر جهان.

به طور کلی می‌توان گفت که منظومه O3b اولین منظومه ماهواره‌ای بر اساس IP است که امکان ایجاد شبکه‌ای از کاربران متحرک را ایجاد کرده است. به علت هزینه پایین، این منظومه امکان ایجاد سرویس برای سایت‌هایی را دارد که با ماهواره‌های ژئو و فیبر امکان سرویس‌دهی برای آنها وجود ندارد. ظرفیت بالا و تاخیر کم این منظومه خدمات مبتنی بر ماهواره را به صورت غیرقابل باوری افزایش داده است. باند فرکانسی این ماهواره باند Ka می‌باشد. طرح فرکانسی ماهواره‌های O3b به صورت شکل ۲-۲۹- می‌باشد. در مرحله اول، منظومه O3b با ۱۲ ماهواره راه‌اندازی شد که خلاصه مشخصات مربوط به ماهواره‌های اپراتور O3b در جدول ۲-۱۱- آورده شده است.



شکل ۲-۲۹- پلن فرکانسی ماهواره‌های O3b [17]

جدول ۲-۱۱- خلاصه مشخصات مربوط به ماهواره‌های منظومه O3b [17]

پیمانکار سازنده ماهواره	Thales Alenia Space (base on GLOBALSTAR2 heritage)
تعداد ترانسپوندر هر ماهواره	12 Ka-Band transponders
نوع باس ماهواره	ELiTeBus-1000
نوع پیش‌ران	Hydrazine monopropellant, 8 × 1 N thrusters
منبع تأمین توان	2 deployable solar arrays, batteries
طول عمر	10 years
وزن	~700 kg
ارتفاع مداری	۸۰۲۶ km
طیف هر ماهواره	۴,۳ GHz
حداکثر ظرفیت هر ماهواره	12 Gbps (۲۰×۶۰۰ Mb/s) به ازای هر ماهواره
تعداد ترانسپوندرها کل منظومه	۱۹۲۰ ترانسپوندر هر کدام ۳۶ مگاهرتزی
سرمایه گذار	Google, HSBC, LIBERTY GLOBAL
آنتن هر ماهواره	12 steerable antenna (±26 streeable)
نوع محموله	ترانسپوندر شفاف و بدون لینک بین ماهواره‌ای
دوره زمانی مداری	۲۸۸ دقیقه

در فاز دوم تکمیل این منظومه، ۸ ماهواره دیگر در سال ۲۰۱۸ پرتاب شد که مشخصات این ۸ ماهواره جدید مشابه مشخصات ۱۲ ماهواره قبلی بود. همانطور که در شکل ۲-۳۰- نشان داده شده است، منظومه O3b بین عرض جغرافیایی ±۴۵، بیش از ۱۷۷ کشور جهان و ۷۰ درصد جمعیت جهان را پوشش داده است. در این شکل محل قرارگیری دروازه[1]، نقطه حضور[2] و دفاتر اپراتورهای محلی این منظومه نشان داده شده است. این منظومه دارای ۹ دروازه، سه نقطه حضور می‌باشد.

1 Gateway
2 Point Of Presence (POP)



شکل ۲-۳۰- پوشش منظومه O3b در سراسر جهان [17]

برای مشتریان مختلف از جمله تجاری و بکهالینگ، هوایی، دولتی، دریایی و نفت و گاز و انرژی استفاده همزمان از ماهواره‌های در دو مدار مئو و ژئو مزایایی را بوجود آورده است که می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- تاخیر کم (مئو)
- پوشش مناطق با چگالی جمعیت پایین و بالا (مئو/ژئو)
- استفاده از مرکز داده[1] و دفاتر کار اپراتورها[2](مئو/ژئو)
- ظرفیت بالا و دسترسی بالا (مئو)
- امکان ایجاد ترافیک محلی
- امکان ایجاد پوشش محلی
- امکان ایجاد شبکه‌های محلی

منظومه O3B برای دریافت دارای دو دسته ترمینال می‌باشد. ترمینال‌های ثابت و ترمینال‌های متحرک که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

1 Data center
2 Branch office

۱. **ترمینال‌های ثابت:** ترمینال‌های با بازده بالاMEO edge شرکت Gilat، به عنوان تجهیزات ثابت زمینی منظومه O3b مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ترمینال‌ها قابلیت ارایه خدمات به صورت TDMA[1] و SCPC[2] بر روی منظومه ماهواره‌های O3b را دارند. این ترمینال شامل دو مودم SkyEdge II و Accent VSAT هستند که می‌تواند به دو آنتن با قابلیت ردیابی متصل شود. یکی از قابلیت‌های مهم در این ترمینال‌ها، ایجاد یک جریان ثابت از ترافیک و حفظ IP در حین دست به دست شدن بین ماهواره است. این ترمینال‌ها ارتباطات با نرخ داده بالا بروی حامل خارج باند[3] با استاندارد DVB-S2 برقرار می‌کنند و از طریق این ترمینال‌ها دسترسی داخل باند[4] با ایجاد حداکثر انعطاف‌پذیری برای اپراتور، پشتیبانی می‌شود.

۲. **ترمینال‌های متحرک:** Get SAT، تولیدکننده ترمینال‌های SATCOM قابل حمل برای پلت‌فرم‌های متحرک مانند پهپادها است که ترمینال‌های Micro SAT و Milli SAT آن هم اکنون با راه‌حل‌های مبتنی بر O3b MEO SES سازگار می‌باشند و ارتباطات داده‌ای تا ۱۰ مگابیت بر ثانیه را می‌توانند پشتیبانی کنند. شمایی از ترمینال Micro sat شرکت Get SAT در شکل ۲-۳۱- نشان داده شده است.

1 Time domain multiplexing Access
2 Single Channel per carrier
3 Outbound
4 Inbound



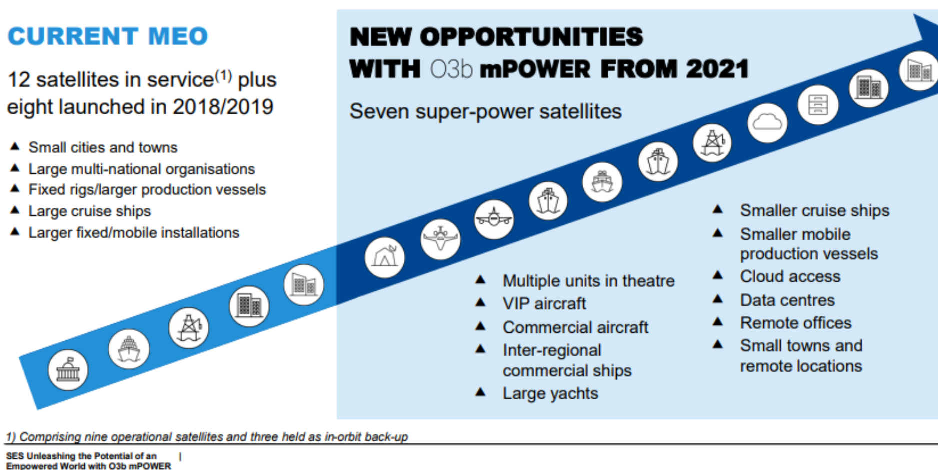
شکل ۲-۳۱- شمایی از ترمینال Micro sat شرکت Get SAT[18]

۲-۶-۲. منظومه O3b mPOWER

همانطور که پیشتر گفته شد، در حال حاضر ۲۰ ماهواره مئو با نام منظومه O3b در حال ارایه سرویس می‌باشند و که ۸ ماهواره از این منظومه در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ پرتاب شده است که در حال ارایه سرویس به شهرهای کوچک و روستاها، شرکت‌های بزرگ چند ملیتی، دکل‌های بزرگ نفتی ثابت و کشتی‌های بزرگ، کشتی‌های بزرگ کروز، ایستگاه‌های متحرک و ثابت بزرگ می‌باشند.

طبق بررسی‌های صورت گرفته در آینده به منظور تأمین نیاز به پهنای باند کاربران مختلف، ماهواره نقش برجسته‌تری در ارتباطات جهانی خواهد داشت. با توجه به بازار بالقوه موجود برای خدمات ماهواره‌ای و تجربه موفق منظومه O3b، شرکت SES تصمیم گرفت که منظومه جدید خود را تحت عنوان O3b mPOWER گسترش دهد. با پرتاب ۷ ماهواره خیلی قدرتمند از سال ۲۰۲۱ برای این منظومه فرصت‌های جدیدی برای ارایه سرویس به POPهای متعدد، هواپیماهای VIP، هواپیماهای تجاری، کشتی‌های تجاری و قایق‌های بادبانی بزرگ، کشتی‌های کروز، کشتی‌های کوچک، همچنین امکان دسترسی به ابر، دیتا سنتر برای مراکز دورافتاده و شهرهای کوچک مهیا می‌شود.

در شکل ۲-۳۲- مقایسه‌ای از خدمات قابل ارایه بر روی منظومه O3b فعلی و O3b mPOWER آورده شده است. به طور کلی می‌توان گفت که با ظهور منظومه O3b mPOWER، برای کسب و کارها فرصت اتصال به خدمات ابری به صورت نمایی ایجاد می‌شود و پیش‌بینی می‌شود که ۱۰ تا ۲۵ برابر بهبود در شبکه موجود SES ایجاد شود. در SES بازار هدف O3b mPOWER، ادوات متحرک و مناطق دورافتاده، فاقد زیرساخت فیبر مانند خطوط کروز، ایستگاه‌های دریایی، خدمات دولتی و استخراج معادن معرفی می‌شود. مدیران SES می‌گویند که «ما همچنین با ارایه‌دهندگان شبکه زمینی مشارکت خواهیم داشت تا شبکه‌های فیبری خود را بدون نیاز به ایجاد زیرساخت‌های جدید که ممکن است از نظر اقتصادی یا فیزیکی امکان‌پذیر نباشند، گسترش دهند.» و مدعی هستند که به تمام بازارهای O3b موجود و مشتریانی که به علت محدودیت در ظرفیت و تعداد پرتوهای موجود، قادر به دریافت سرویس نیستند، خدمت ارایه خواهند داد.



شکل ۲-۳۲- گسترش بازار خدمات ماهواره‌ای با ایجاد منظومه O3b mPOWER [19]

احتمال موفقیت سیستم ارتباطات نسل بعدی شرکت SES بنام O3b mPOWER به دلیل ظرفیت ماهواره‌های نسل جدید، ویژگی‌های سیستم‌های زمینی، انعطاف‌پذیری بالا، مدیریت هوشمند شبکه نرم‌افزار محور، کنترل و اتوماسیون، بسیار بالا می‌باشد. برخلاف بسیاری از

منظومه‌های ماهواره‌ای مدار غیرژئو، سیستم آتی O3b mPOWER به طور کامل تأمین مالی شده است. این منظومه در حقیقت بر اساس فن‌آوری‌ای است که از نظر تجاری به اثبات رسیده و بر اساس کسب و کار اثبات شده در بازار و با حداقل کردن ریسک عملیاتی برای مشتریان بنا نهاده شده است.

بوئینگ در سپتامبر ۲۰۱۷ به عنوان پیمانکار ساخت هفت ماهواره اول O3b mPOWER انتخاب شد. در اکتبر ۲۰۲۰ چهار ماهواره دیگر نیز به این شرکت سفارش داده شد. این ماهواره‌ها از هزاران پرتو نقطه‌ای[1] پشتیبانی می‌کنند که ظرفیت ایجاد شده توسط آن‌ها سه برابر کل منظومه Via-SAT3 می‌باشد. شرکت اسپیس‌ایکس این هفت ماهواره را در سال ۲۰۲۱ با استفاده از یک موشک فالکون۹ پرتاب خواهد کرد و برنامه‌ریزی برای پرتاب دسته دوم ماهواره‌ها درست بعد از پرتاب ماهواره‌های سری اول در اواخر سال ۲۰۲۱ صورت گرفته است. که به احتمال زیاد از دو موشک برای پرتاب سه ماهواره به ترتیب در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ استفاده خواهد شد.

ماهواره‌های O3b mPOWER در واقع نسل دوم از ماهواره‌های شبکه O3b هستند که ویژگی‌های آنها بهبود یافته است. ماهواره‌های نسل دوم، ماهواره‌هایی با وزن ۱۲۰۰ کیلوگرم، با ظرفیت بسیار بالا که به صورت منظومه، قادر به ایجاد ظرفیتی معادل چند ترابیت در ثانیه می‌باشند. این منظومه در مجموع دارای ۳۰,۰۰۰ پرتو با قابلیت شکل‌دهی و قابل هدایت می‌باشد که می‌توانند سریعا بسته به نیاز مشتری جابه‌جا شوند تا بتوانند تمام نیاز رو به تغییر مشتریان را پاسخ دهند. از ویژگی‌های این دسته ماهواره می‌توان به سیستم پیشرانش تمام الکتریکی آن اشاره کرد. اپراتور O3b mPOWER پلت‌فرم ماهواره‌ای مدل پروازی ۷۰۲ از شرکت بوئینگ که صحت عملکرد آن به اثبات رسیده است، برای ایجاد یک ساختار منحصر بفرد در مدار مئو سفارش داده است. ماهواره‌های نسل دوم در همان ارتفاع مداری که ماهواره‌های نسل اول O3b قرار دارد، قرار می‌گیرند، با این تفاوت که با زاویه میل ۷۰ درجه قرار خواهند گرفت و یک پوشش نزدیک به پوشش جهانی ایجاد خواهند کرد. منظومه استوایی ۲۴ ماهواره و منظومه با زاویه میل دارای ۱۶ ماهواره می‌باشند. مشخصات کلی اپراتور O3b mPOWER در جدول ۲-۱۲- آورده شده است.

1 Spot beam

جدول ۲-۱۲- مشخصات ماهواره‌های O3b mPOWER [13]

اپراتور	O3b Neworks Ltd.
پیمانکار	بوئینگ
تجهیزات	ترانسپوندرهای باند Ka
ترکیب بندی	BSS-702X
منبع توان	دو آرایه خورشیدی و باتری
طول عمر	۱۰ سال
وزن	۱۷۰۰ کیلوگرم
مدار	7825 km, 0°; 7825 km, 70°

منظومه O3b mPOWER مشابه منظومه O3b فعلی، دارای ویژگی‌هایی مانند تاخیرکم، ظرفیت بالا می‌باشد که تاخیر کم این منظومه به علت استفاده از ماهواره‌های غیرژئو و ظرفیت بالا آن به علت استفاده از باند فرکانسی Ka و فن‌آوری استفاده مجدد از فرکانس است. به منظور کاهش نرخ خرابی، تجهیزات سمت کاربر کاملاً الکترونیکی، دیجیتالی و بدون حرکت فیزیکی می‌باشد. جدول ۲-۱۳- به صورت خلاصه ویژگی منظومه O3b mPOWER را بررسی می‌نماید.

جدول ۲-۱۳- ویژگی منظومه O3b mPOWER [19]

مشخصات کلی سیستم	O3b mPOWER شامل منظومه با ۱۱ ماهواره مئو ظرفیت بالا، زیرساخت‌های زمینی گسترده و نرم‌افزار هوشمند می‌باشد.
باند فرکانسی	وجود قابلیت برای کانالیزه کردن باند فرکانسی بین ۱۵ مگاهرتز تا ۲٫۵ گیگاهرتز برای یک ترمینال. باند فرکانسی K تجاری در صورت تمایل مشتری می‌توان از باند فرکانسی Ka نظامی[1] استفاده نمود.
ظرفیت به ازای هر ترمینال	ظرفیت به ازای هر ترمینال، توسط ویژگی‌های ترمینال کاربر محدود می‌شود. حداکثر نرخ بیت به ازای هر کاربر برابر با ۱۰گیگابیت بر ثانیه می‌باشد. در منظومه بعدی هر ماهواره دارای ظرفیت ۲۰۰ گیگابیت برثانیه خواهد بود که در حال حاضر ۲۰ مگابیت بر ثانیه می‌باشد.
ظرفیت	ظرفیت سیستم در حد ترابیت با توانایی ارایه خدمات مدیریت شده به هزاران مشتری از صدها

1 Military Ka contingent

	مگابیت در ثانیه تا چند گیگابیت بر ثانیه به ازای هر مشتری.
انعطاف‌پذیری	• بیش از ۳۰۰۰۰ پرتوی با قابلیت شکل‌دهی و قابلیت تنظیم پرتو در آن واحد. • قابلیت پوشش‌دهی تقریبا جهانی با ۴۰۰ میلیون کیلومتر مربع • مسیردهی ترافیک مشتری در هر نقطه، تخصیص پهنای باند بهینه در مسیر رفت و برگشت و کنترل منابع شبکه به طور پویا.
عملکرد	دارای قابلیت ارایه خدمات با هر سطح تاخیر، دسترسی، پوشش و بازده برای خدمات به صنایع
مقیاس‌پذیری	• ایجاد چندین ترابیت ظرفیت از طریق یک شبکه شبه فیبر • ترمینال‌های زمینی کوچک، سریع و با قابلیت نصب آسان، کاهش زمان نصب از روز به ساعت
پوشش	قرارگیری ماهواره‌ها در مدار ۵۰± درجه با پوشش ۹۶ درصد از جمعیت جهانی • بین ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ پرتو در هر SC در مقابل ۱۰ پرتو در SC امروز، وابسته به طراحی نهایی • قابلیت ایجاد پرتوهای مناسب مطابق با نیاز نقاط حضور • قابلیت بروزرسانی امن پوشش پرتو بی‌درنگ بر اساس نیاز ترمینال‌ها / مشتری
شرکای فن‌آوری	برای رسیدن به هدف جهان متصل در خشکی و دریا، یک ابر طراحی شده است: • بخش فضایی و پرتابگر • بوئینگ (تولیدکننده ماهواره)، اسپیس‌ایکس (پرتاب‌کننده) • زیرساخت‌های زمینی • ALCAN، سیستم‌های ایزوتروپیک، • نرم‌افزار هوشمند • Amdocs (ONAP), Microsoft (ONAP/Azure) • (ARC) Kythera Space Solutions
بازارهای عمودی[1] و مشتریان	• متحرک: کروز، حمل و نقل تجاری و هوایی • مخابرات: تلکام، اپراتورهای شبکه تلفن همراه و ارایه‌دهندگان خدمات ابری • دولت: نظامی، سازمان‌های دولتی و سازمان‌های غیردولتی • تجاری نفت و گاز، استخراج معادن و سایر ارگان تجاری
انقلاب فن‌آوری	• استفاده از لبه فن‌آوری در بخش زمینی و فضایی • یکپارچگی سیستم‌های موجود ژئو، مئو و شبکه زمینی
بهبود از نظر اقتصادی و هزینه‌ای	• کاهش هزینه به ازای هر بیت و هزینه تجهیزات زمینی • بهبود بهره‌وری در Capex شرکت SES به ویژه با احتمال جایگزینی ماهواره ژئو

شرکت SES در بخش زمینی، تولید انواع ترمینال‌های کاربران برای بخش‌های هوایی، دریایی، مودم‌های مجازی و ترمینال‌های ارزان قیمت در طول سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱

1 Vertical Markets

برنامه‌ریزی کرده است. بدین منظور شرکت SES قراردادهای مختلفی با شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات و نرم‌افزارهای شبکه منعقد نموده است. در اصل می‌توان گفت که SES یک اکوسیستم منحصر به فرد از شرکت‌های مختلف در بخش فضایی، زیرساخت‌های زمینی و نرم‌افزاری ایجاد کرده است. این کار سبب ایجاد شتاب در بازار فن‌آوری‌های جدید می‌شود. این رویکرد و همکاری با شرکای صنعت در یک اکوسیستم باز، مشارکتی، مبتنی بر استاندارد کمک خواهد کرد که ماهواره به بخش غیرقابل انکاری از شبکه داده و ابر جهانی تبدیل شود[20]. شرکای فن‌آوری O3b mPOWER هر یک دارای رویکرد متفاوتی در ارایه فن‌آوری نو برای مشتریان هستند.

۲-۷. منظومه سرعت نور تله‌سَت

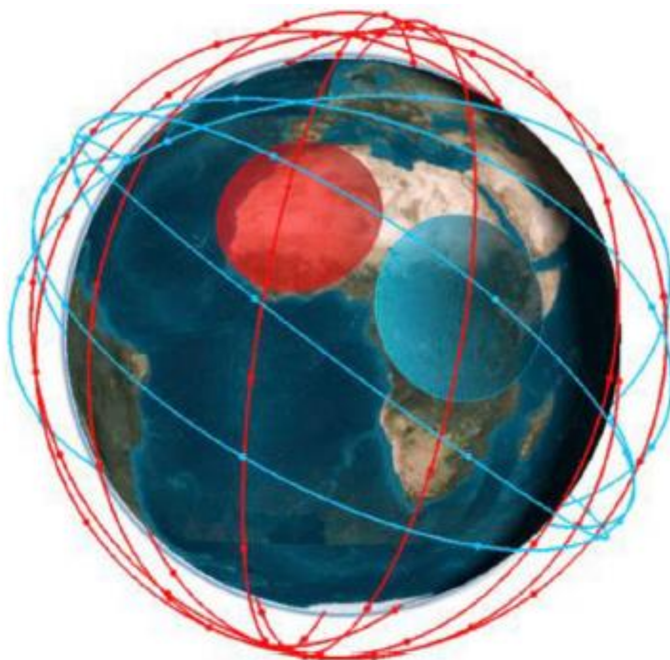
تله‌سَت یک شرکت قدیمی ارتباطات ماهواره‌ای در کاناداست. این شرکت در سال ۱۹۶۹ به عنوان یک شرکت دولتی تاسیس و سپس در سال ۱۹۹۸ واگذار و به صورت یک شرکت خصوصی درآمد. این شرکت مجموعه ماهواره‌های Anik و مجموعه ماهواره‌های تله‌استار را در مدار ژئو دارد و تا سال‌ها، انحصار تمامی ایستگاه‌های زمینی ارتباطات ماهواره‌ای در کانادا را داشت. این شرکت تاکنون (سال ۲۰۲۰- ۲۰۲۱) چهارمین ارایه‌دهنده خدمات ماهواره ثابت در جهان است.

شرکت تله‌سَت در سال ۲۰۱۶ به رقابت برای توسعه منظومه اینترنت ماهواره‌ای پیوست. بر طبق آخرین اطلاعات بدست آمده منظومه تله‌سَت موسوم به سرعت نور[1]، دارای دو فاز است[23]. در فاز اول، ۲۹۸ ماهواره ارسال می‌شود و سپس این منظومه با ۱۶۷۱ ماهواره تکمیل می‌گردد. تمامی ماهواره‌های این منظومه در دو دسته مدار قرار می‌گیرند. مدار قطبی که ارتفاعی در حدود ۱۰۱۵ کیلومتر و زاویه انحراف ۹۸,۹۸ درجه دارد و مدار مایل در ارتفاع ۱۳۲۵ کیلومتری که زاویه انحراف ۵۰,۸۸ درجه دارد.

در فاز اولیه، ۶ مدار قطبی با ۱۳ ماهواره در هر مدار و ۲۰ مدار مایل با ۱۱ ماهواره در هر مدار انتخاب می‌شوند و در مجموع ۲۹۸ ماهواره در مدار قرار می‌گیرد. این فاز برای شروع سرویس‌دهی لازم است. مدارهای این فاز در شکل ۲-۳۳ نشان داده شده است. در این شکل

1 Telesat Lightspeed

مدارهای قطبی با خطوط قرمز و مدارهای مایل با خطوط آبی نمایش داده شده‌اند. در فاز دوم منظومه تعداد مدارهای قطبی از ۶ به ۲۷ و تعداد مدارهای مایل از ۲۰ به ۴۰ مدار افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۳۳- مدارهای مورد استفاده در منظومه سرعت نور تله‌سَت[7]

همچنین در این فاز تعداد ماهواره‌ها در مدار مایل سه برابر می‌شود (از ۱۱ به ۳۳ مورد می‌رسد). در حقیقت تله‌سَت مدارهای قطبی را برای پوشش نقاط کم برخوردار به خصوص در نواحی قطبی انتخاب کرده و مدارهای مایل را برای نقاط پرجمعیت مورد توجه قرار داده است. به همین خاطر در فاز دوم پروژه، ماهواره‌های مدار مایل بیشتر می‌شوند تا ظرفیت بیشتری را برای این نقاط فراهم آورد.

منظومه تله‌سَت هم دارای لینک بین ماهواره‌ای بین ماهواره‌های یک مدار و هم لینک‌های متقاطع بین ماهواره‌های مدارهای مختلف است. محموله این ماهواره‌ها چهار پرتو قابل چرخش برای دروازه‌های زمینی و ۲۴ پرتو قابل شکل‌دهی برای کاربران دارند. همچنین

تمامی منابع نظیر پهنای‌باند و توان به صورت دینامیک در ماهواره تخصیص داده می‌شود. بر طبق فایلینگ‌های موجود این منظومه از فرکانس ۱۷٫۸ تا ۲۰٫۲ گیگاهرتز برای ارتباط فروسو و از ۲۷ تا ۳۰ گیگاهرتز برای ارتباط فراسو استفاده می‌کند که مشابه منظومه‌های وان‌وب و اسپیس‌ایکس، ارتباطات زمینی منظومه در باند Ka است.

ماهواره‌های منظومه تله‌سَت احتمالا وزنی در حدود ۸۰۰ کیلوگرم داشته باشند که بسیار بیشتر از وزن ماهواره‌های وان‌وب و اسپیس‌ایکس است. همچنین این منظومه نیز به علت حضور لینک بین ماهواره‌ای تاخیر کم خواهد داشت و ظرفیت کلی منظومه ۱۶ تا ۲۴ ترابیت برآورد می‌شود. شرکت تله‌سَت در سال ۲۰۱۸ دو نمونه اولیه از ماهواره‌های منظومه خود را به فضا پرتاب کرده است.

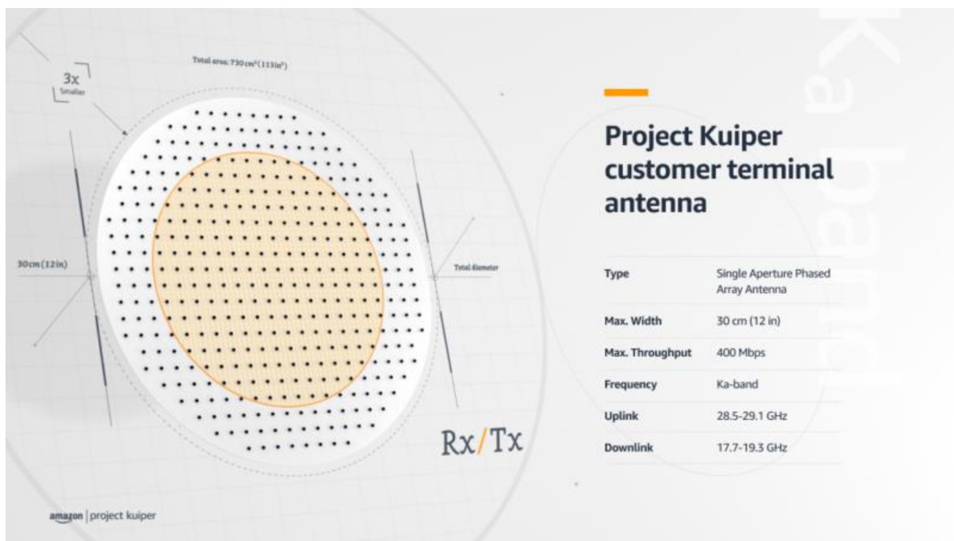


شکل ۲-۳۴- ماهواره اولیه پرتاب شده توسط تله‌سَت برای منظومه سرعت نور[24]

۲-۸. منظومه کوپیر آمازون

منظومه کوپیر، پروژه شرکت آمازون برای استقرار اینترنت پهن‌باند در مدار لئو می‌باشد. این پروژه از سال ۲۰۱۹ به صورت یک شرکت زیرمجموعه آمازون به نام Kuiper Systems LLC درآمد و آمازون اعلام کرد که در حدود ۱۰ میلیارد دلار در این پروژه سرمایه‌گذاری خواهد نمود. در این پروژه آمازون در حدود ۳۲۳۶ ماهواره را در ۹۸ مدار در ارتفاع‌های ۵۹۰، ۶۱۰، ۶۳۰ کیلومتری از زمین قرار خواهد داد. شروع پرتاب‌های شرکت از اواخر سال ۲۰۲۱ خواهد بود و فرآیند تکمیل منظومه یک دهه به طول خواهد انجامید. آمازون هدف اصلی خود را ارایه اینترنت پرسرعت به مناطق کمتر برخوردار اعلام نموده است.

در دسامبر ۲۰۲۰ آمازون از آنتن نوآورانه خود برای دریافت زمینی رونمایی کرد. این آنتن آرایه‌ای در باند Ka (۱۷تا ۳۰ گیگاهرتز) و دارای ابعادی در حدود ۳۰ سانتی‌متر است. همچنین گیرنده زمینی می‌تواند تا سرعت ۴۰۰ مگابیت بر ثانیه را پوشش دهد و عنوان شده این گیرنده بسیار ارزان قیمت خواهد بود. تصویر منتشر شده از این گیرنده زمینی درشکل ۲-۳۵ نشان داده شده است.



شکل ۲-۳۵- تصویر منتشر شده از آنتن‌های ایستگاه زمینی پروژه کوپیر در سایت آمازون[22]

آمازون اعلام کرده است (سال ۲۰۲۰- ۲۰۲۱) که قصد ندارد، از ظرفیت پرتاب شرکت Blue Origin متعلق به جف بزوس استفاده نماید و در این زمینه با سایر پرتاب‌کننده‌ها قرارداد خواهد بست. در آپریل ۲۰۲۱ آمازون اعلام کرد که برای ۹ پرتاب ماهواره پروژه کوپیر با ULA[۱] قرارداد بسته است و این ماهواره‌ها از طریق موشک اطلس V در مدار قرار خواهند گرفت. آمازون همچنین دارای ۱۲ ایستگاه زمینی تحت عنوان AWS برای خدمات مرتبط با شرکت خود است که پروژه کوپیر از این ظرفیت برای دروازه‌های زمینی خود استفاده خواهد نمود. از نکات قابل توجه دیگر انتصاب راجیف بدیال معاون اسبق منظومه استارلینک به سمت مدیر عامل پروژه کوپیر در دسامبر ۲۰۱۹ می‌باشد. پروژه کوپیر نسبت به رقبای مطرح خود اندکی دیرتر شروع شده است و در زمان نگارش کتاب (سال ۲۰۲۱) اطلاعات بیشتری از این پروژه در دسترس نیست.

۲-۹. منظومه ماهواره‌های نانو در پروژه لینک

شاید نام منظومه لینک[۲] به شهرت سایر منظومه‌ها نباشد. ولیکن نوع نگاه این پروژه به مسئله ابرمنظومه‌ها یک نگاه نو آورانه و متفاوت با سایر موارد می‌باشد و از این حیث قابلیت بررسی بیشتر را دارد. در زمان نگارش کتاب (سال ۲۰۲۱) شرکت استارتاپ UbiquitiLink یکی از شرکت‌هایی است که قصد طراحی ابرمنظومه ماهواره‌ای برای کاربرد اینترنت پرسرعت را دارد ولیکن این شرکت ارتباط مستقیم با گوشی هوشمند را بازار هدف خود در نظر گرفته و برای این منظور ۱۰۰۰ ماهوارۀ نانو در نظر گرفته است.

ماهواره‌های کوچک[۳] معمولا به ماهواره‌هایی با وزن کمتر از ۵۰۰ کیلوگرم گفته می‌شوند که البته بر اساس وزن ماهواره به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌گردند. هدف اولیه از طراحی این ماهواره‌ها کاهش هزینه‌های اقتصادی پرتاب و ساخت ماهواره می‌باشد. معمولا در طراحی این ماهواره، تعداد گسترده‌ای از ماهواره برای یک هدف علمی یا جمع‌آوری اطلاعات در نظر گرفته می‌شود. مشکل فنی طراحی این دسته از ماهواره‌ها نبود فضای کافی برای ذخیره‌سازی انرژی و سیستم پیشرانش در ماهواره می‌باشد. ماهواره‌های کوچک براساس وزن

1 United launch Alliance
2 Lynk
3 Small Satellite

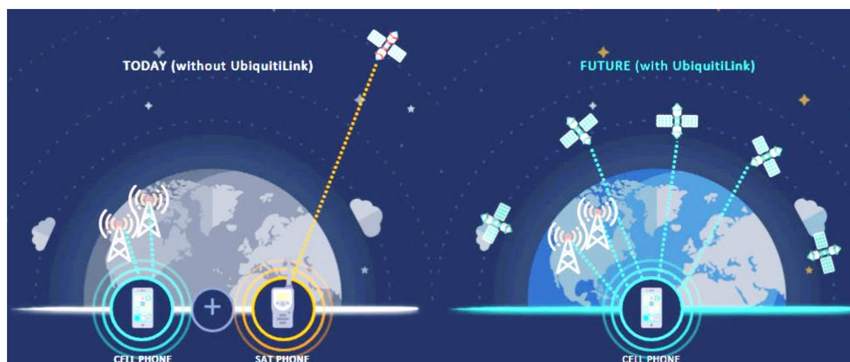
به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند که در جدول ۲-۱۴ دسته‌بندی‌های این گروه از ماهواره‌ها دیده می‌شود [21].

جدول ۲-۱۴. دسته‌بندی ماهواره‌های کوچک از لحاظ وزن [21]

نام دسته	وزن (کیلوگرم)
ماهواره‌های مینی	۱۰۰ تا ۵۰۰
ماهواره‌های میکرو	۱۰ تا ۱۰۰
ماهواره‌های نانو	۱ تا ۱۰
ماهواره‌های پیکو	۰,۱ تا ۱
ماهواره‌های فمتو	کمتر از ۰,۱

همزمان با معرفی ماهواره‌های کوچک در سال‌های اخیر، منظومه ماهواره‌های کوچک نظیر لینک نیز مورد توجه قرار گرفته است. این دسته از منظومه‌ها عمدتا بازار هدفی در ارتباطات ماشین به ماشین (M2M) و اینترنت اشیا دارند. چنین ارتباطی در حمل و نقل، صنایع نفت و گاز، کشاورزی، تدارکات، معدن، جنگل، آب و برق و دریانوردی تجاری کاربرد دارد. مهم‌ترین خصوصیات این منظومه‌ها کاهش قیمت تمام شده ساخت و پرتاب ماهواره‌های پر تعداد می‌باشد. اکثر منظومه‌ها با ماهواره‌های کوچک در تلاش برای هماهنگی با اپراتورهای سنتیMSS و فعالیت‌ها در بازار اینترنت اشیا می‌باشند. در حقیقت این شرکت‌ها قصد دارند، با ایجاد همکاری با اپراتورهای زمینی، شبکه‌های ترکیبی اینترنت اشیا را برای برنامه‌های کاربردی موبایل بکار ببرند.

طرح منظومه لینک استفاده از هزاران ماهواره به منظور پوشش کامل شبکهٔ سلولی در سراسر دنیا با استفاده از منظومه لئو می‌باشد. این شرکت اعلام کرده که قصد دارد، هزاران ماهوارهٔ کوچک به وزن حداکثر ۲۵ کیلوگرم را به تدریج در مدار لئو قرار دهد و به طور مستقیم به کاربران شبکه‌ی سلولی در شرایطی که پوشش زمینی وجود ندارد، سرویس ارایه دهد. این شرکت تاکنون چند ماهواره‌ی آزمایشی پرتاب کرده است. شکل ۲-۳۶- نحوه برقراری ارتباطی مورد نظر این شرکت را با تلفن همراه معمول نشان می‌دهد[25].



شکل ۲-۳۶- نحوه برقراری ارتباط UbiquitiLink با تلفن همراه[25]

تفاوت این پروژه با سایر منظومه‌ها از قبیل وان‌وب و اسپیس‌ایکس ابعاد کوچکتر ماهواره‌ها و در نتیجه هزینه بسیار پایین بخش فضایی و همچنین هزینهٔ پایین پرتاب ماهواره‌ها است. باند فرکانسی مورد استفاده این منظومه همان باند شبکه‌های سلولی زمینی است. لذا کاربران با گوشی‌های تلفن همراه معمولی قادر به دریافت سرویس از این منظومه می‌باشند. این شرکت اعلام کرده که به صورت یک اپراتور رومینگ جهانی عمل خواهد کرد. به گونه‌ای که اپراتورهای منطقه‌ای با این شرکت قرارداد خواهند داشت و در هر زمان و مکانی که توسط اپراتور محلی پوشش داده نمی‌شوند، می‌توانند از خدمات این ماهواره‌ها استفاده کنند. لازم به ذکر است، شبکه موبایل زمینی در حال حاضر تنها ۲۵ درصد از زمین را پوشش داده است و بازار هدف این شرکت ایجاد پوشش سراسری است.

نکته‌ی مهم دیگر که هزینه‌های این شرکت را کاهش می‌دهد، استفاده از همان باند فرکانسی مورد استفاده توسط شبکه‌های سلولی زمینی است. به گونه‌ای که نیازی به تخصیص فرکانس جدید ندارد و صرفا از باند فرکانسی مورد استفاده، توسط اپراتورهای محلی در شرایطی که این اپراتورها امکان ارایهٔ خدمات ندارند، استفاده می‌کند. با این حال نحوه‌ی مدیریت تداخل‌های احتمالی با اپراتورها به دلیل محدوده‌ی پوشش وسیع ماهواره از چالش‌های است که مشخص نیست، این شرکت چگونه با آن برخورد می‌کند.

اولین محموله این شرکت در فوریه ۲۰۱۹ با فضاپیمای سیگنوس[1] مورد تست قرار گرفت. محموله مورد نظر در دماغه کپسول سیگنوس قرار داشت. فضاپیمای سیگنوس، یک فضاپیمای پشتیبانی بدون سرنشین یکبار مصرف آمریکایی است که توسط شرکت نورثروپ گرومن به عنوان بخشی از برنامه خدمات حمل و نقل مداری تجاری[2] ساخته و راه‌اندازی شده است. تصویر این پرتاب شکل ۲-۳۷- نشان داده شده است.

تکنولوژی مورد نظر منظومه لینک در پنج روز متوالی خارج از این فضا پیما مورد تست قرار گرفت. شرکت UbiquitiLink برنامه تست‌های بیشتر منظومه خود را ادامه خواهد داد. براساس برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته محموله‌های آتی شرکت توسط موشک فالکون ۹ اسپیس‌ایکس به فضا پرتاب خواهند شد. محموله این شرکت در حدود ۸ تا ۱۰ کیلوگرم وزن خواهد داشت و به نظر می‌رسد، کل ماهواره وزنی کمتر از ۲۵ کیلوگرم داشته باشد. شرکت قصد دارد در سال‌های آتی برای تجاری‌سازی محصولات خود اقدام نماید.



شکل ۲-۳۷- فضاپیمای سیگنوس حامل محموله پروژه Lynk [25]

1 Cygnus
2 Commercial Orbital Transportation Services (COTS)

۲-۱۰. جمع‌بندی

در این فصل وضعیت شرکت‌های فعال در زمینه ابرمنظومه‌ها و آخرین دستاوردهای فنی این شرکت‌ها پرداخته شد. در طی بررسی‌های انجام شده در این فصل، مشخص گردید که از سال ۲۰۱۵ رقابت جدی بین شرکت‌های خصوصی برای بحث اینترنت ماهواره‌ای ایجاد شده است. بیش از سی شرکت در چند سال اخیر برنامه‌هایی برای راه‌اندازی اینترنت ماهواره‌ای داشته‌اند. از میان این ۳۰ مجموعه، دو شرکت وان‌وب و اسپیس‌ایکس پیشرفت‌های جدی در این زمینه داشته‌اند. اسپیس‌ایکس حتی نسخه بتا از اینترنت ماهواره‌ای را در برخی مناطق به فروش رسانده است. به موازات این دو شرکت پیشرو، اس ای اس، آمازون، تله‌سَت نیز گام‌های جدی در زمینه اینترنت ماهواره‌ای برداشته‌اند. جدول ۲-۱۵- وضعیت و برنامه‌های این پنج شرکت اصلی را جمع‌بندی نموده است.

با پیشرفت‌های رخ داده توسط این پنج شرکت پیشرو به نظر می‌رسد، بحث اینترنت پرسرعت و ارزان ماهواره‌ای یک فن‌آوری قطعی و فراگیر در چند سال آینده (بعد از سال ۲۰۲۰) خواهد بود. علاوه بر این شرکت‌ها، ده‌ها مجموعه استارتاپی قصد راه‌اندازی ایده‌های نوآورانه برای سرویس اینترنت پرسرعت از ماهواره‌های کوچک و مکعبی را دارند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به منظومه ماهواره‌های نانو پروژه لینک اشاره نمود.

جدول ۲-۱۵- مقایسه وضعیت پنج شرکت اصلی ارایه‌کننده اینترنت ماهواره‌ای

نام منظومه	شرکت سازنده	کشور سازنده	تاریخ اخذ مجوز	تاریخ آغاز سرویس دهی	تعداد ماهواره	ارتفاع به کیلومتر	باند فرکانسی	سرعت سرویس	آخرین وضعیت May 2021
Oneweb	WorldVu Airbus JV	انگلیس چند ملیتی	2017	2021	882–1980	1200	Ku, Ka,V	up to 595 Mbit/s	۲۱۸ ماهواره پرتاب کرده است. انتهای سال ۲۰۲۱، ۴۲۴ ماهواره خواهد داشت.
Starlink	SpaceX	آمریکا	2017	2021	4,425–11,943	550-1325	Ku, Ka,V	up to 1 Gbit/s	۱۶۰۰ ماهواره در مدار دارد
Project Kuiper	Amazon	آمریکا	2019	N/A	3236	590 – 630	Ka	broadband	فایلینگ در جولای ۲۰۱۹ / پرتاب در پنج فاز کاری شروع از ۲۰۲۱
Telesat LEO	Airbus SSTLSS/Loral	کانادا	2017	2021	298–1671	1000–1248	Ka	like fiber optic cable-	دو نمونه اولیه در سال ۲۰۱۸ پرتاب شده است
O3B mPower	O3B Boieng	لوکزامبورگ چند ملیتی	2017	2021	40	8000	Ka, V	1 Gbit/s for a cruise ship	قبلا ۲۰ ماهواره شبکه O3B را تکمیل نموده است و در حال راه‌اندازی شبکه جدید O3B mPower است.

مراجع

[1] Douglas Broom, "Coronavirus has exposed the digital divide like never before," World Economic Forum, 22 Aplir 2020, URL: https://www.weforum.org/agenda/2020/04/coronavirus-covid-19-pandemic-digital-divide-internet-data-broadband-mobbile/

[2] "Satellite constellation," Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/ Satellite_constellation

[3] "Compare the Top 4 Satellite Phones for 2021," Satellitephonestore, URL: https://satellitephonestore.com/catalog/sale/satellite-phones

[4] "The Best Portable Satellite Internet Terminals and Devices," Satellitephonestore, URL: https://satellitephonestore.com/catalog/sale/satellite-terminals

[5] "NewSpace Index," Newspace, URL: https://www.newspace.im/

[6] "Musk said that Starship Starship will take over Starlink and replace the role of Falcon 9" Minnews, 2021, URL: https://www.spacex.com/

[7] del Portillo, Inigo, Bruce G. Cameron, and Edward F. Crawley. "A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband." Acta Astronautic, 2019, pp. 123-135.

[8] Eric Ralph "SpaceX Starlink satellite constellation aims to become world’s largest after next launch," Teslarati, 25 November 2019, URL: https://www.teslarati.com/spacex-next-starlink-launch-worlds-largest-constellation/

[9] "SpaceX sends 60 more Starlink satellites into orbit," princetoncouncil ,7 January 2020, URL: http://princetoncouncil.org/spacex-sends-60-more-starlink-satellites-into-orbit/

[10] "Oneweb"Avilable at: "https://oneweb.net/"

[11] Caleb Henry "OneWeb says regulatory concerns main reason it’s forgoing inter-satellite links"Spacenews, 2 July 2018, URL: https://spacenews.com/oneweb-says-regulatory-concerns-main-reason-its-forgoing-inter-satellite-links

[12] "OneWeb Minisatellite Constellation for Global Internet Service,"eoPortal Directory, URL:https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellitemissions/content//article/oneweb

[13] "SES S.A.," Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SES_S.A.

[14] "SES Take your story anywhere," SES, URL: https://www.ses.com/

[15] Steve Collar, "Unleashing the Potential of an Empowered World with the Launch of O3b mPOWER," SES, 11 September 2017, URL: https://www.ses.com/blog/unleashing-potential-empowered-world

[16] "Learn more about O3b mPOWER" O3b mPower, 2020, URL: https://o3bmpower.ses.com/learn-more

[17] Richard Barnett, "O3b – A different approach to Ka-band satellite system design and spectrum sharing," ITU Regional Seminar for RCC countries on Prospects for Use of the Ka-band by Satellite Communication Systems, Almaty, Kazakhstan 5 - 7 September 2012.

[18] Mike Ball, "Mobile SATCOM Terminals Add Compatibility with O3b MEO Network," Unmanned Systems Technology, 20 Mar 2020, URL: https://www.unmannedsystemstechnology.com/2020/03/mobile-satcom-terminals-add-compatibility-with-o3b-meo-network/

[19] John Parkinson, "Our Connectivity MEO Evolution," MD, SES UK, 17th September 2019, URL: https://www.ioag.org/Public%20Documents/07_SES.pdf.

[20] "SES Networks Announces Partnerships for Groundbreaking O3b mPOWER Customer Edge Terminals" Reuters, 8 March 2018, URL: https://www.reuters.com/article/brief-ses-networks-announces-partnership/brief-ses-networks-announces-partnerships-for-groundbreaking-o3b-mpower-customer-edge-terminals-idUKFWN1QQ072

[21] "A Basic Guide to Nanosatellites" Alen Space, URL: https://alen.space/basic-guide-nanosatellites/

[22] "Amazon Marks breakthough in project Kuiper development,"Amazon, 16 December 2020, URL:https://www.aboutamazon.com/news/innovation-at-amazon/amazon-marksbreak through -in-project-kuiper-development

[23] Pachler, Nils, et al. "An Updated Comparison of Four Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to Provide Global Broadband." 2021 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops). IEEE, 2021.

[24] "Telesat Lightspeed LEO Network," Telesat, URL: https://www.telesat.com/leo-satellites/

[25] Loren Grush, "Space startup Lynk uses satellite to send text message to unmodified Android phone," Theverge, 18 March 2020, URL: https://www.theverge.com/2020/3/18/21184126/lynk-mega-constellation-text-message-android-smartphone-cell-towers-space

فصل سوم: نظام‌های حقوقی و مقررات مرتبط با ابرمنظومه‌ها

۳-۱. مقدمه

چنانکه عنوان شد، در سال‌های اخیر یک رقابت قابل توجه در میان شرکت‌های بزرگ و حتی کشورها در ارتباط با ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای ایجاد شده است. در آپریل ۲۰۲۰ کل ماهواره‌های لئو (بدون احتساب ابرمنظومه‌ها) حدود ۱۵۰۰ عدد بوده است و این در حالی است که فقط شرکت اسپیس‌ایکس در فاز اول با منظومه ماهواره‌ای استارلینک قصد دارد، بیش از ۱۱۰۰۰ ماهواره را در فاصله ۳۰۰ تا ۶۰۰ کیلومتری زمین قرار دهد که به تنهایی ۶ برابر ماهواره‌های موجود در مدار لئو در سال ۲۰۲۰ می‌باشد. چنین رقابت گسترده‌ای سوالاتی را در حوزه حقوق فضا در رابطه با کشورهای در حال توسعه مطرح کرده است:

- آیا ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای حقوق سرزمینی سایر کشورها را رعایت خواهند کرد یا تهدیدی برای حقوق حاکمیتی سایر کشورها، شرکت‌های مخابراتی و اقتصاد دیجیتال شرکت‌های در حال توسعه خواهند بود؟
- آیا در آینده نزدیک مدار و فرکانس ابرمنظومه‌های لئو اختصاصی خواهد شد و نظیر مدار ژئو یک نظام ثبت و درخواست نقطه مداری لئو خواهیم داشت؟

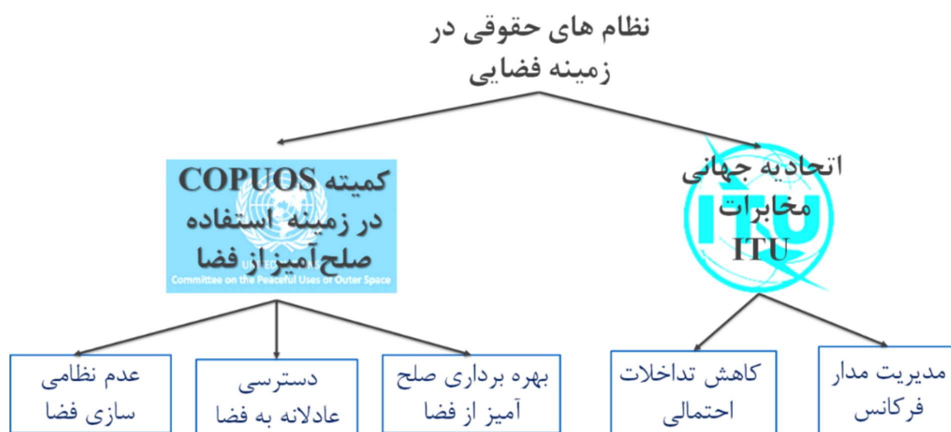
- مجامع بین‌المللی تا چه زمانی می‌توانند بر اساس قانون ارایه خدمت بر اساس اولویت ثبت[1] در ITU ثبت ابرمنظومه‌های لئو را ادامه دهند؟
- آیا قوانین دسترسی عادلانه به فضا و استفاده صلح‌آمیز از فضا با حضور ابرمنظومه‌ها نقض می‌شود؟ با استقرار چندین ابرمنظومه توسط کشورها/شرکت‌های پیشرفته، آیا کشورهای در حال توسعه امکان دسترسی به فضا را در آینده نزدیک خواهند داشت؟
- آیا ابرمنظومه‌ها بعنوان یکی از زیرساخت اینترنت جهانی می‌تواند در توسعه کشور در بخش‌های کمتر توسعه یافته به کار گرفته شود؟

برای پاسخ به این سوالات باید، ابتدا شناخت دقیقی از حقوق فضایی و قوانین موجود بین‌المللی داشت و سپس ضعف‌ها و ناکارآمدی‌های این قوانین را درک و در نهایت با اتخاذ تصمیمات مناسب در جهت مواجهه با این پدیده نوظهور برنامه‌ریزی شود. در این فصل در بخش ابتدایی با شرایط حاکم بر حقوق بین‌الملل در زمینه فضا پرداخته شود. نهادهای درگیر در مسائل حقوقی و آخرین قوانین و اتفاقات آن‌ها بررسی خواهد شد. در ادامه چالش‌های حقوقی در زمینه ابرمنظومه‌ها بررسی خواهد شد. مسائلی مانند دسترسی عادلانه به مدار لئو، مدیریت طیف، محافظت در برابر تداخل، حقوق حاکمیتی و پسماندهای فضایی از جمله چالش‌های حقوقی سال‌های آتی با حضور ابرمنظومه‌ها خواهند بود.

۳-۲. نظام‌های حقوقی در زمینه فضا

در حال حاضر دو نظام حقوقی برای تنظیم‌گری فعالیت‌های حوزه فضایی وجود دارد که عبارتند از معاهدات و قوانین و توصیه‌نامه‌های کمیته کوپوس و مقررات تخصیص طیف و مدیریت تداخل ITU. هدف اصلی از تعریف این دو نظام حقوقی، تضمین استفاده موثر و دسترسی عادلانه با در نظر گرفتن نیازها و منافع کل جامعه بین‌المللی است. در شکل ۳-۱- شمایی از دو نظام حقوقی نشان داده شده است. در ادامه به بررسی این دو نظام حقوقی خواهیم پرداخت.

1 First Come First Served



شکل ۳-۱- معرفی دو نظام حقوقی در زمینه فضایی و اهداف هریک [1]

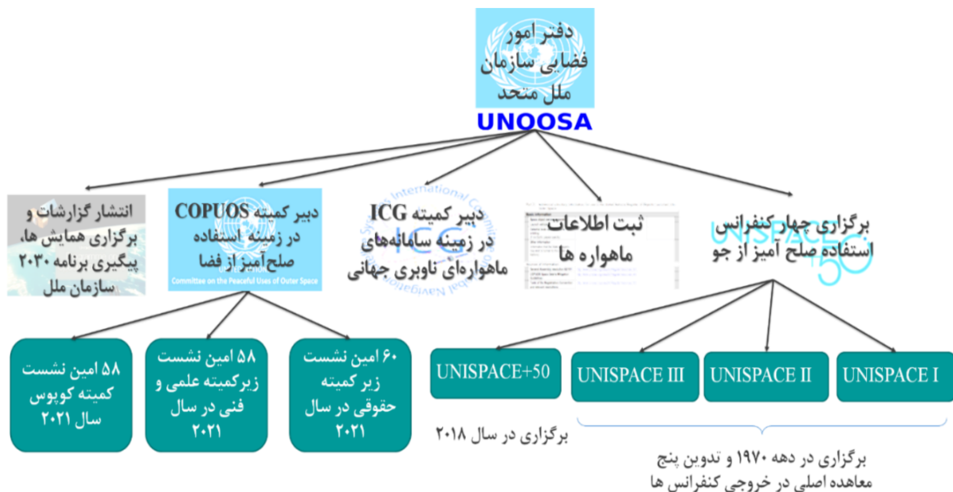
۳-۳. نظام حقوقی کمیته چهارم استفاده صلح آمیز از فضای ماورای جو (COPUOS)، سازمان ملل

در سال ۱۹۵۸ میلادی، اندکی پس از پرتاب ماهواره اسپوتنیک ۱، از سوی کشور اتحاد جماهیر شوروی، عقب‌ماندگی آمریکا در این زمینه باعث شد که این کشور تلاش کند تا حقوق فضا را در سطح بین‌المللی در سازمان ملل مطرح کند. این رویکرد آغازی بر تدوین حقوق بین‌الملل در حوزه فضا شد. مجمع عمومی سازمان ملل متحد طی قطعنامه شماره ۱۳۴۸ کمیته ویژه‌ای را در خصوص استفاده‌های صلح‌آمیز از فضای ماوراء جو تاسیس نمود. یک سال بعد طی قطعنامه شماره ۱۴۷۲ کمیته دائمی تحت عنوان "کمیته استفاده‌های صلح‌آمیز از فضای ماوراء جو"[1] با نام اختصاری کوپوس تشکیل شد. وظیفه این کمیته، بررسی گسترده همکاری بین‌المللی در جهت استفاده صلح‌آمیز از فضای بیرونی و طراحی برنامه‌هایی در این زمینه زیر نظر سازمان ملل، تشویق به پژوهش و گسترش دانش فضای ماورای جو و مطالعه مشکلات حقوقی پیش‌آمده در هنگام اکتشاف فضایی می‌باشد. کمیته کوپوس خود از دو کمیته فرعی حقوقی و کمیته فرعی علمی و فنی تشکیل شده است که به طور سالیانه نشست‌های متعددی را در زمینه‌های حقوقی و فنی برگزار می‌نماید و

1 United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space

کشورها با حضور در این نشست‌ها و تبادل دیدگاه، زمینه را برای تصویب قطعنامه یا دستورالعمل‌های حقوقی فراهم می‌آورند[4].

مدیریت کمیته کوپوس بر عهده دفتر امور فضایی سازمان ملل متحد، اوسا (UNOOSA[1]) است. یونوسا مسئولیت ترویج همکاری‌های بین‌المللی در زمینه استفاده صلح‌آمیز از فضای ماورای جو را بر عهده دارد. همچنین مسئولیت برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی بین‌المللی و همچنین پروژه‌های آزمایشی در حوزه سنجش از دور، ناوبری ماهواره‌ای، هواشناسی با استفاده از ماهواره‌ها، آموزش از راه دور و علوم فضایی را در راستای منفعت کشورهای در حال توسعه عهده‌دار است. خلاصه فعالیت‌های این دفتر در شکل ۳-۳- نشان داده شده است.

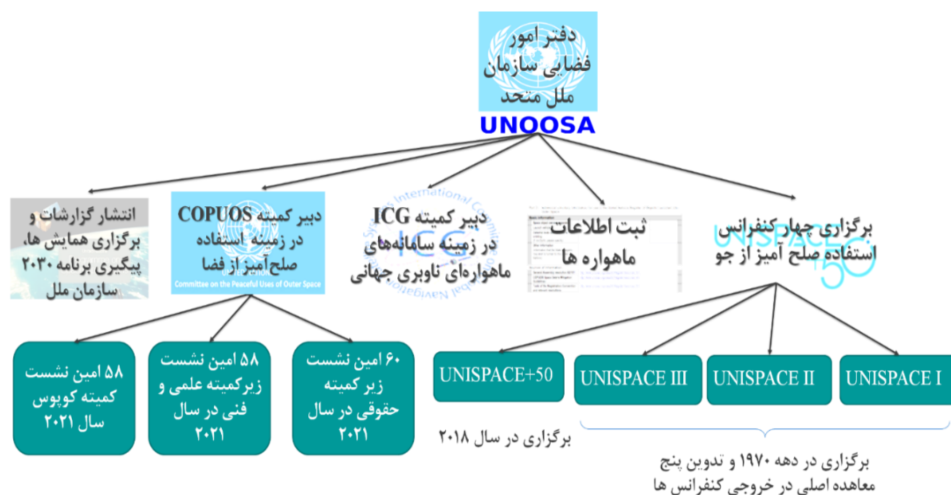


شکل ۳-۲- اوسا و مهم‌ترین نشست‌های مرتبط با بحث حقوقی منظومه‌ها [3]

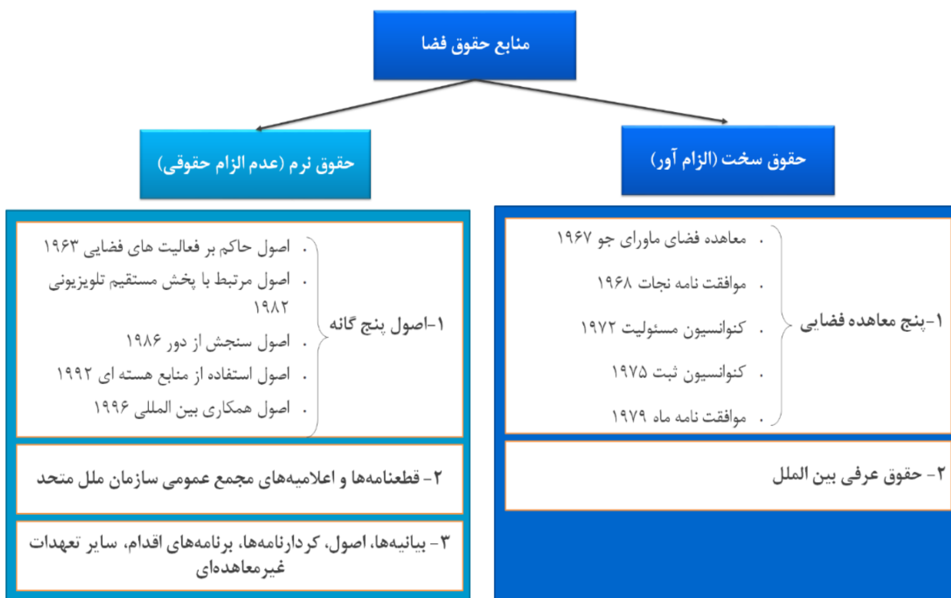
چنانکه در شکل ۳-۴- نشان داده شده است، حقوق فضایی تدوین و تصویب شده در کمیته کوپوس به دو دسته حقوق سخت و نرم تقسیم می‌شود. حقوق سخت مجموعه‌ای از پنج معاهده‌ای است که در سال‌های ۱۹۶۸ الی ۱۹۷۹ تدوین شدند. این معاهدات را می‌توان به عنوان مهم‌ترین منبع حقوق بین‌الملل فضایی تلقی کرد. بر طبق تصمیمات اتخاذ شده تمام کشورهای عضو، متعهد به اجرای این معاهدات شده‌اند و کمیته کوپوس به اجرای این

1 United nation office for outer space affiars

۵ معاهده نظارت می‌کند. این معاهدات و قوانین هرچند دارای ضعف‌هایی هستند، اما به نظر همچنان زمینه مناسبی جهت دفاع از حقوق کشورها در زمینه استفاده از منابع فضایی هستند و شکل ۳-۴- مهم‌ترین منابع حقوق فضا از نگاه بین‌المللی را نشان می‌دهد.



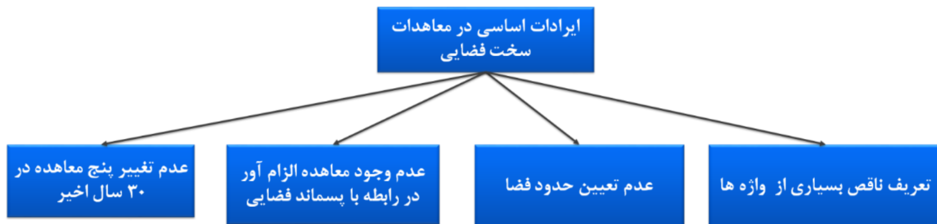
شکل ۳-۳- اوسا و مهم‌ترین نشست‌های مرتبط با بحث حقوقی منظومه‌ها[3]



شکل ۳-۴- مهم‌ترین منابع حقوق فضا از نگاه بین‌المللی [2]

حقوق نرم شامل پنج اصل در زمینه فعالیت‌های فضایی صدها قطعنامه و اعلامیه مجمع عمومی و بیانیه‌ها و تعهدات غیرمعاهده‌ای است که هیچکدام الزام‌آور نیستند با این همه از لحاظ وجهه بین‌المللی و تاثیر در نگاه سایر کشورها مورد توجه هستند و اکثر کشورها تلاش می‌کنند تا حقوق نرم را در حالت کلی رعایت نمایند. در زمینه حقوق نرم می‌توان به بیش از ۱۰۰ قطعنامه مجمع عمومی در زمینه فضای ماورای جو اشاره نمود. از این میان حدود یک سوم از قطعنامه‌ها در رابطه با جلوگیری از مسابقه تسلیحاتی در فضای ماورای جو و حدود یک پنجم در رابطه با بهره‌برداری صلح‌آمیز از فضا و همکاری بین‌المللی می‌باشد. در بسیاری از مواقع با عدم تعریف دقیق واژه‌های صلح‌آمیز فعالیت‌های نظامی غیرتخاصمی را کشورها به عنوان فعالیت صلح‌آمیز در نظر می‌گیرند.

علی‌رغم وجود منابع مذکور، بسیاری از مسائل حقوقی در معاهدات سخت و نرم تا حدودی مبهم باقی مانده‌اند. در طی سال‌های اخیر بارها تصمیماتی جهت رفع نواقص موجود در معاهدات اتخاذ شده که با کارشکنی کشورهای صاحب فن‌آوری به سرانجامی نرسیده است. به نظر می‌رسد، جهت امنیت بیشتر و پایداری فضا از نظر حقوقی باید ابهامات موجود در این معاهدات برطرف گردد. در شکل ۳-۵- برخی از مهم‌ترین ضعف‌های حقوق فضایی در معاهدات فضایی نشان داده شده است. از جمله این ابهامات تعریف پسماند فضایی است که این موضوع می‌تواند باعث مفیدتر شدن کنوانسیون مسئولیت شود. در مجمع عمومی کوپوس در سال ۲۰۱۸ مطرح شد که باید یک فرآیند مشورتی در مورد تعریف پسماندهای فضایی صورت گیرد.



شکل ۳-۵- برخی از مهمترین ضعف‌های حقوق معاهدات فضایی [1]

۳-۴. نظام حقوقی اتحادیه جهانی مخابرات (ITU)

نظام حقوقی اتحادیه جهانی مخابرات[1] (ITU)، بر مدیریت طیف و مدار و کاهش تداخلات احتمالی متمرکز شده است. بر اساس کنوانسیون[2] ITU، مهم‌ترین حقوق کشورهای عضو جامعه جهانی عبارتند از:

- حق استفاده اثربخش و کارآمد از باند ماهواره‌ای
- حق دسترسی عادلانه به مدار/طیف فرکانس

چنانکه در شکل ۳-۶- نشان داده شده، ITU شامل سه بخش است:

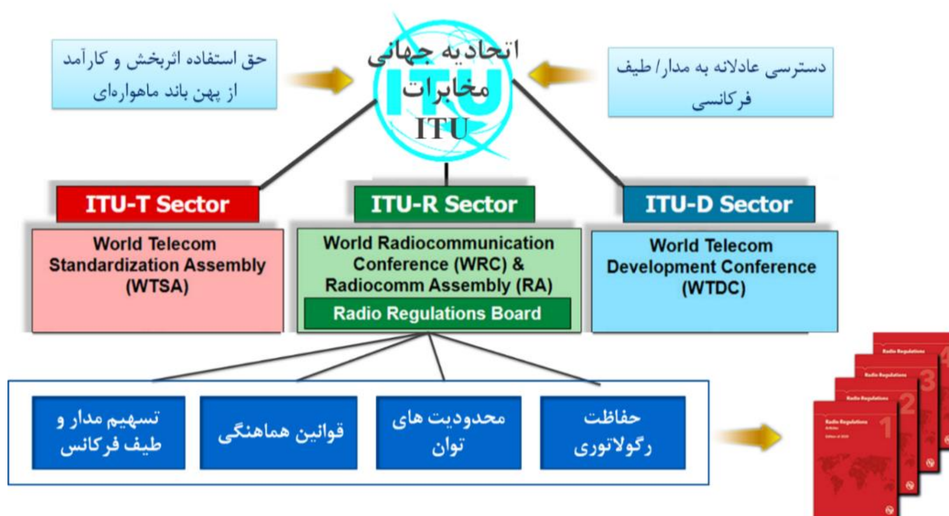
۱-مخابرات رادیویی (ITU-R)[3]

۲- استانداردسازی (ITU-T)[4]

۳- توسعه (ITU-D)[5]

از آنجایی‌که هدف ITU-R تحقق دسترسی و بهره‌برداری کارآمد، منطقی و اقتصادی از طیف و مدار ماهواره‌ها برای تمامی کشورهاست، ذیل ITU-R هر چهارسال یکبار کنفرانس جهانی ارتباطات رادیویی[6] (WRC) برگزار می‌شود و در این کنفرانس مقرراتی را تحت عنوان مقررات رادیویی[7] تصویب و ارایه می‌دهند[5].

1 International Telecomunication Union
2 ITU Costitution and Convention 2015
3 ITU Radiocommunication sector
4 ITU Telecommunication Standardization sector
5 ITU Telecommunication Development sector
6 World Radiocommunication Conference
7 Radio Regulation



شکل ۳-۶- ساختار تشکیلاتی ITU و مهم‌ترین بخش‌های مرتبط با بحث حقوقی منظومه‌ها[5]

مقررات رادیویی به عنوان مهم‌ترین منبع ITU-R در حوزه‌های ذیل هستند:

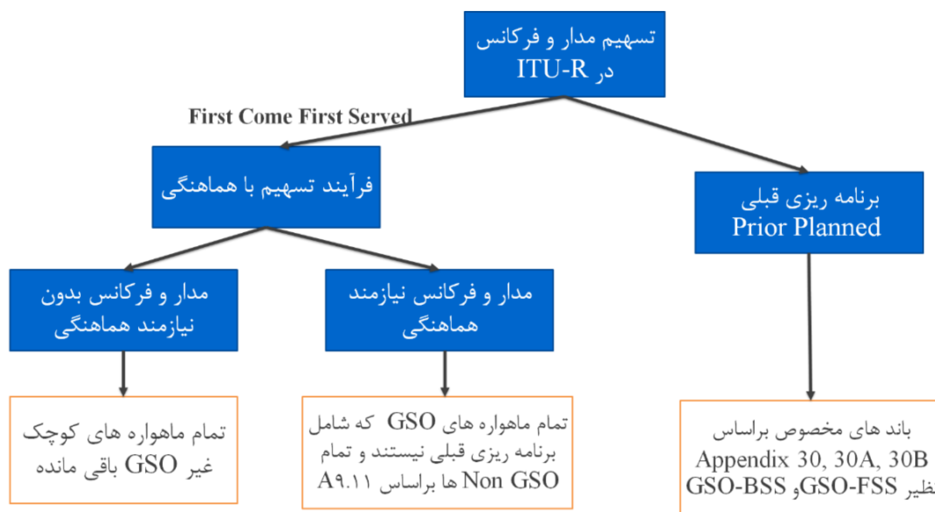
- تخصیص فرکانس[1] و جداسازی فرکانسی ایستگاه‌های مربوط به خدمات مختلف.
- هماهنگی بین کشورها برای اطمینان از عملیات بدون تداخل.
- حفاظت رگولاتوری[2] از منابع.
- تعیین محدودیت‌های توان.

یکی از نکات مهم مطرح شده در مقررات رادیویی، تسهیم مدار و فرکانس ماهواره‌ها است. بر طبق این قوانین تسهیم مدار و فرکانس ماهواره مطابق شکل ۳-۷- به دو صورت انجام می‌شود:

۱. براساس برنامه‌ریزی پیشین،
۲. براساس هماهنگی.

1 Frequency Allocation
2 Regulatory Protection

روش برنامه‌ریزی پیشین شامل رزرو نقطه مداری و پهنای‌باند برای هر کشور، همراه با پارامترهای عملیاتی است که در نتیجه آن دسترسی همه کشورها به منابع مداری ژئو تضمین می‌شود. این روش بعد از استفاده روزافزون کشورهای توسعه‌یافته از منابع مداری و نگرانی کشورهای در حال توسعه، در راستای تضمین دسترسی حداقلی آنها به طیف و نقطه مداری ژئو در سال ۱۹۷۰ به وجود آمد. در حال حاضر این روش مختص ماهواره‌های مدار ژئو و فرکانس مشخص شده در ضمیمه‌های مقررات رادیویی می‌باشد.



شکل ۳-۷- تسهیم مدار و فرکانس در حالت‌های مختلف در ITU

روش مبتنی بر درخواست و هماهنگی میان کشورها که به نام روش دریافت خدمات بر اساس اولویت ثبت‌نام نیز مرسوم است، به صورت ثبت‌نام در لیستی در ITU تحت عنوان MIFR[1]، به منظور جلوگیری از تداخلات مضر می‌باشد. این روش خود به دو صورت انجام می‌شود. ثبت نقطه مداری و فرکانس برای ماهواره‌های ژئو در خدمات ثابت (FSS)[2] به صورت هماهنگی و ثبت مدار و فرکانس شبکه‌های ماهواره‌ای با طول عمر کوتاه[3]، بدون نیاز

1 Master International Frequency Register
2 Fixed satellite service
3 Short Duration Mission(SDM)

به هماهنگی قبلی. در این دو روش حصول اطمینان از عدم تداخلات فرکانسی به موجب مقررات رادیویی با انجام دقیق مراحل هماهنگی میسر می‌شود. در این فرآیند بررسی می‌شود که شبکه ماهواره‌ای مورد تقاضا با حقوق کدام کشور که از قبل ثبت شده، در تعارض است. در ماده ۹ مقررات ماهواره‌ای حالت‌های مختلفی که یک ماهواره نیازمند هماهنگی است، بیان شده است. در بخش بعدی این دو روش به تفصیل توضیح داده خواهند شد. باید توجه نمود، در حال حاضر اختصاص فرکانس و مدار برای ابرمنظومه‌ها در ITU بر اساس اصل اولویت ثبت می‌باشد. در حقیقت ثبت مدار و فرکانس براساس برنامه‌ریزی قبلی در ITU همچنان مختص ماهواره‌های ژئو می‌باشد. این مسئله می‌تواند چالش‌هایی را برای استفاده عادلانه از مدار لئو به خصوص برای کشورهای در حال توسعه ایجاد نماید که در ادامه این فصل این چالش‌ها نیز بررسی خواهند شد.

۳-۴-۱. ثبت ماهواره بر اساس هماهنگی در ITU

ITU همواره تلاش می‌کند، مقرراتی را ایجاد کند که از تداخل مضر جلوگیری نماید. با توجه به گسترش روزافزون درخواست برای ایجاد ماهواره‌های غیرژئوسنکرون (NGSO[1]) و چالش‌هایی که ماهواره‌های غیرژئو از منظر ایجاد تداخل روی ماهواره‌های ژئو یا بر روی منظومه‌های دیگر ایجاد می‌کند، در نشست‌های مختلف ITU در رابطه با لزوم فرآیند محور نمودن و پیدا نمودن راهکار برای چالش‌های یاد شده بحث شده و راهکارهایی ارایه گردیده است. براساس مباحث مربوط به WRC-19 و WRS-20 در رابطه با ماهواره‌های غیرژئو موارد زیر در نظر گرفته شد:

- اطمینان از عدم تداخل بر روی سرویس‌های موجود مبتنی بر دسترسی عادلانه
- هماهنگی بین ماهواره‌های غیرژئو و ژئو در باندهای فرکانسی که محدودیت وجود دارد
- هماهنگی بین ماهواره‌های غیرژئو با یکدیگر در باندهای فرکانسی که محدودیت وجود دارد.

1 Non GSO

– محدودیت چگالی شار توان معادل EPFD [1] برای محافظت از ماهواره‌های ژئو در برابر ماهواره‌های غیرژئوسنکرون (ماده ۲۲)

در WRC-19 در ماده ۹ در رابطه با هماهنگی بین منظومه‌های غیرژئوسنکرون و ژئوسنکرون (9.12A و 9.21/A) و برای هماهنگی بین شبکه‌های غیرژئوسنکرون (9.12 و 9.21/B) بحث شده است. این هماهنگی صرفا زمانی مد نظر قرار می‌گیرد که هم‌پوشانی فرکانسی بین شبکه‌های مورد نظر وجود داشته باشد. این هم‌پوشانی فرکانسی ممکن است، در یک جهت (هر دو در مسیر فروسو یا فراسو) و یا در جهت‌های مخالف (یکی در جهت فروسو و دیگری در مسیر فراسو) باشد.

در جدول ۳-۱- محدوده‌های فرکانسی خدمات ثابت (FSS) و نیازمندی‌های هماهنگی برای هر محدوده مشخص شده است. در این جدول شماره ماده‌های مربوط به مستند ITU-RR جهت هماهنگی مشخص شده است. خلاصه مطالب این ماده‌ها به شرح زیر است :

ماده 9.12: در صورتی‌که محدوده فرکانسی مورد نظر در جدول‌های فرکانسی ماده ۵ نیاز به هماهنگی داشته باشد، شبکه‌های غیرژئو می‌بایست، این هماهنگی را انجام دهند.

ماده 9.12A: در صورت نیاز به هماهنگی فرکانسی مطابق جدول‌های فرکانسی ماده ۵ این هماهنگی باید بین شبکه‌های غیرژئو و ژئو انجام شود.

ماده 22: در جدول‌های 22.1A، 22.1B، 22.1C، 22.1D و 22.1E محدودیت‌های مربوط به مقدار EPFD که شبکه‌های غیرژئو بر روی شبکه‌های ژئو و ایستگاه‌های زمینی آنها ایجاد می‌کنند، مشخص شده است. بر اساس محدوده فرکانسی و پهنای‌باند مرجع مقدار EPFD قابل قبول برای خدمات ثابت ماهواره‌ای و خدمات پخش همگانی مشخص شده است.

ماده 22.2: شبکه‌های غیرژئو نباید تداخل غیرقابل قبول بر روی خدمات ثابت ماهواره‌ای [2] و خدمات پخش همگانی [3] ماهواره‌ای ژئو ایجاد کرده و نباید مدعی محافظت در برابر تداخل از سوی شبکه‌های ژئو باشند، مگر برای مواردی که در مقررات تعیین شده باشد.

---

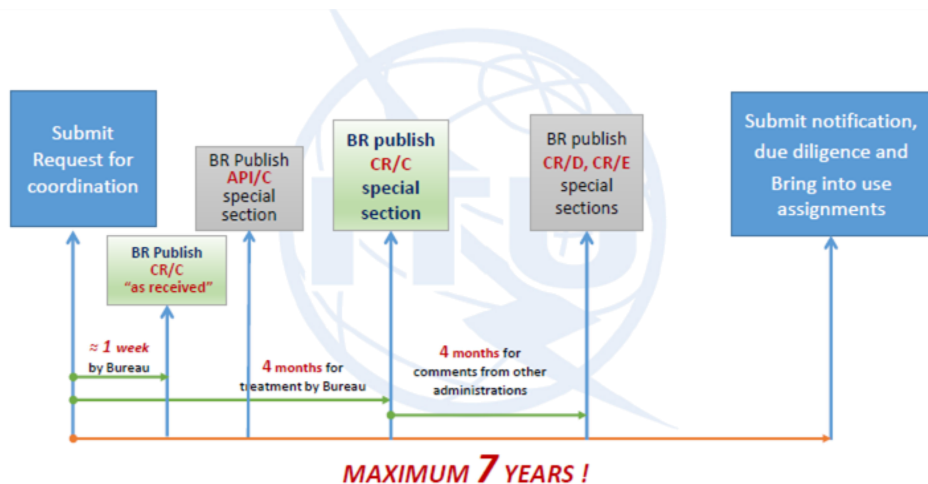
1 Equivalent Power Flux Density(EPFD)
2 Fixed Satellite Services
3 Broadcasting Satellite Services

جدول ۳-۱- محدوده فرکانس‌های FSS و نیازمندی‌های هماهنگی[7]

باندهای فرکانسی FSS		هماهنگی بین غیرژئو و ژئو	هماهنگی بین غیرژئو	بدون نیازمندی محافظت ژئو	ماده۲۲ محدودیت‌های سخت EPFD
زمین به فضا	فضا به زمین				
	3400-4200MHz			22.2	بله(3700-4200)
5725-6700 MHz				22.2	بله (5925-6700)
6700-7075 MHz			9.12	22.2	بله (6700-6725)
7250-7750 MHz				22.2	
7900-8400 MHz				22.2	
	10.7-12.95 GHz		9.12	22.2	بله
	11.2-11.45 GHz		9.12	22.2	بله
	11.7-12.75 GHz		9.12	22.2	بله
12.75-13.25 GHz			9.12	22.2	بله
13.75-14.0 GHz			9.12	22.2	بله
	17.8-18.6 GHz		9.12	22.2	بله
	18.6-18.8 GHz			22.2	
	18.8-19.3 GHz	9.12A	9.12		
	19.3-18.7 GHz (MSS FL)	9.12A	9.12		
	19.3-19.7 GHz			22.2	
	19.7-20.2 GHz		9.12	22.2	بله
	20.2-21.2 GHz			22.2	
27.5-28.6 GHz			9.12	22.2	بله
28.6-29.1 GHz		9.12A	9.12		
29.5-30.0 GHz			9.12	22.2	بله
V-Band FSS	V-Band FSS		9.12	22.2	بله

پس از بررسی بندهای ماده ۹ مقررات رادیویی در صورتی که ماهواره در هر یک از حالت‌های مذکور قرار گرفته باشد، نیازمند به هماهنگی با سایر ماهواره‌های در حال فعالیت است. شروع هماهنگی بین ۲ تا ۷ سال قبل از تاریخ عملیاتی شدن می‌باشد. شکل ۳-۸- روال تشکیل پرونده در ITU را نشان می‌دهد. اگر متقاضی در مدت زمان ۷ سال نتواند پروژه خود را تکمیل کند، پرونده مذکور توسط ITU کنسل می‌شود. بدین معنی که دیگر در صف مداری

جایگاهی ندارد و در برابر شبکه‌هایی که بعدا مورد تقاضا در همان مدار قرار می‌گیرند، حمایت نمی‌شود.



شکل ۳-۸- فرآیند ثبت مدار و فرکانس در ITU برای تمامی ماهواره‌ها که نیاز به هماهنگی جهانی دارند. [6]

تا پیش از سال ۲۰۱۹ ابرمنظومه‌ها هم عمدتا از همین روال برای ثبت‌نام در ITU استفاده می‌کردند. مطابق شکل ۳-۸- پس از ثبت درخواست ماهواره‌های منظومه در ITU، یک بازه زمانی هفت ساله برای ارسال ماهواره‌های منظومه برای شرکت درخواست‌دهنده در نظر گرفته می‌شد. ولیکن این قانون دارای یک نقص مهم برای ابرمنظومه‌ها بود. بدین صورت که اگر شرکت حتی یک ماهواره را در این بازه ارسال می‌نمود، برای تکمیل کل منظومه هیچ محدودیت زمانی وجود نداشت. به عبارت دیگر شرکت‌ها تا پیش از سال ۲۰۱۹ با فایلینگ در ITU و ارسال یک ماهواره می‌توانستند منابع مداری و فرکانسی لئو را برای ابرمنظومه خود به صورت نامحدود رزرو نمایند. در WRC-19 تغییراتی در فرآیند ثبت منظومه‌ها به وجود آمد که در بخش ۳-۴-۴. بررسی خواهند شد.

۳-۴-۲. ثبت ماهواره بدون هماهنگی در ITU

ماهواره‌ها با طول عمر کوتاه (SDM[1]) که عمدتا مربوط به مدارهای غیرژئو هستند، از نظر رگولاتوری شرایط ساده‌تری در ITU دارند و معمولا ثبت مدار و فرکانس آن‌ها بدون هماهنگی انجام می‌پذیرد. این ماهواره‌ها یا شبکه آن‌ها باید شرایط زیر را داشته باشند:

- حداکثر دوره عملیات و اعتبار این شبکه‌ها سه سال از زمان شروع به کار می‌باشد.
- حداکثر تعداد ماهواره‌ها در این شبکه‌ها ۱۰ عدد می‌باشد.
- اطلاع‌رسانی بعد از پرتاب ماهواره یا اولین ماهواره (درصورتی‌که شبکه بیش از یک ماهواره داشته باشد) صورت می‌گیرد.
- هیچ‌گونه تغییری در اطلاعات عملکردی ثبت شده امکان‌پذیر نخواهد بود.
- مدیر (مالک) شبکه تعهد می‌دهد که اگر تداخل غیرقابل قبول توسط شبکه SDM ایجاد شود، اقداماتی برای از بین بردن تداخل یا کاهش آن تا حد قابل قبول، انجام دهد.

در این رابطه اصلاحات زیر در WRC-19 و WRS-20 انجام شده است[8]:

- دبیرخانه ITU حداکثر چهار ماه بعد از دریافت اطلاعات کامل، یافته خود مرتبط با اطلاعات ثبت شده را منتشر می‌نماید.
- انتشار سریع نقطه‌نظرهای دریافت شده مربوط به اطلاعات ثبت شده (API[2]) در وب‌سایت ITU مطابق ماده ۹،۳
  - مضمون ماده ۹،۳ این است که اگر مدیر شبکه‌ای، طی انتشار اطلاعات و دریافت آن اعتقاد داشته باشد که شبکه مورد نظر ممکن است، بر روی شبکه موجود یا طراحی شده آن تداخل غیرقابل قبول ایجاد کند که باید در بازه زمانی ۴ ماهه موارد را به مدیر شبکه انتشاردهنده اطلاعات گزارش نماید.
- حذف خودکار فرکانس‌های تخصیص یافته پس از انقضای مدت اعتبار
- بررسی‌های فنی بیشتر بر روی اطلاعات ثبت شده برای کاهش مبادلات غیرضروری بین مدیران شبکه‌ها

1 Short Duration Mission
2 Advance Publication Information

بر اساس تصمیمات اتخاذ شده محدوده‌های فرکانسی زیر برای کاربردهای ماهواره‌های با طول عمر کوتاه (SDM) در نظر گرفته شده است:

- محدوده فرکانسی فروسو از ۱۳۷,۰۲۵ مگاهرتز تا ۱۳۸ مگاهرتز
  - شرایط استفاده از این محدوده در RES-660 آورده شده است.
  - محدودیت PFD: $140\ dBW/(m^2.4KHz)$
- محدوده فرکانسی فراسو از ۱۴۸ مگاهرتز تا ۱۴۹,۹ مگاهرتز
  - شرایط استفاده در ماده 5.218A آورده شده است.
  - محدودیت PFD برای ایستگاه زمینی مطابق ماده ۹,۲۱
  - ماده ۹,۱۷ و ۹,۱۸ باید اعمال شوند.

۳-۴-۳. آخرین تغییرات در فرآیند ثبت منظومه‌ها در ITU

ابرمنظومه‌های اینترنت ماهواره‌ای غالبا شبکه‌های ماهواره‌ای غیرژئو هستند. اکثر این منظومه‌ها باتوجه به اینکه جز ماهواره‌های با طول عمر کوتاه (SDM) نیستند، باید براساس رویه هماهنگی ثبت شوند. این رویه در بخش ۳-۴-۲. توضیح داده شد. با این وجود این رویه برای ابرمنظومه‌ها دارای نواقصی بود که در WRC-19 به آن پرداخته شد. در حقیقت مراجع قانون‌گذار مانند ITU باید از رزرو و استفاده نکردن از منابع مدار/ فرکانس و بوجود آمدن ماهواره‌های کاغذی (که صرفا برای رزرو منابع هستند) پیشگیری نماید. به همین منظور شرایط شروع به کار شبکه ماهواره‌ای در WRC-19 تغییر نمود. نهایی نبودن طرح شبکه ماهواره‌ای در زمان هماهنگی، نکته دیگری است که در WRC-19 مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به این نکته، تغییراتی قابل قبول بر روی پارامترهای مداری و نحوه انجام و ارزیابی تغییرات در مقررات جدید مشخص شده است. مواد مهم تغییر یافته در این کنفرانس به شرح زیر است[8]:

ماده 11.44(WRC-19): تاریخ شروع به کار ایستگاه‌های فضایی شبکه ماهواره‌ای نباید دیرتر از هفت سال پس از دریافت اطلاعات مشخص شده در ماده ۹,۱ و ۹,۲ توسط ITU باشد. هر تخصیص فرکانسی که در این بازه مورد استفاده قرار نگرفته باشد، توسط دبیرخانه ITU با اعلام سه ماه قبل از خاتمه اعتبار، کنسل خواهد شد.

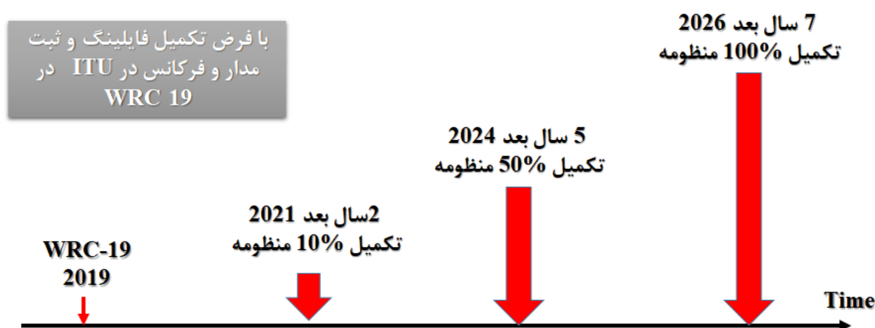
ماده WRC-19)11.44C): تخصیص فرکانس مربوط به یک ایستگاه فضایی در یک شبکه غیرژئو در باندهای FSS، MSS و BSS، اگر توسط یک ایستگاه فضایی با قابلیت ارسال و یا دریافت در باند فرکانسی مذکور در یکی از سطوح مداری اعلام شده، به مدت ۹۰ روز متوالی مورد استفاده قرار گیرد. صرف نظر از تعداد سطوح مداری و یا تعداد ماهواره در هر سطح مداری، فعال و در حال کار در نظر گرفته می‌شود. مدیر مربوطه باید ظرف ۳۰ روز از پایان دوره ۹۰ روزه موارد را به اطلاع دبیرخانه ITU برساند.

ماده WRC-19)11.44D): تخصیص فرکانس مربوط به یک ایستگاه فضایی در یک شبکه غیرژئو با مرجع زمین، به جز تخصیص فرکانس‌هایی که ماده 11.44D در باره آنها اعمال می‌شود. اگر یک ایستگاه با قابلیت ارسال و یا دریافت فرکانس مذکور در یکی از سطوح مداری اعلام شده، صرف نظر از تعداد سطوح مداری و تعداد ماهواره در هر سطح مداری، مستقر شده باشد، فعال و در حال کار در نظر گرفته می‌شود. مدیر مربوطه باید در اسرع وقت و حداکثر ۳۰ روز پس از زمان تعیین شده در ماده ۱۱,۴۴ موارد را به دبیرخانه اعلام نماید.

ماده WRC-19)11.44E): تخصیص فرکانس مربوط به یک ایستگاه فضایی در یک شبکه غیرژئو با مرجع غیر از زمین، با اعلام مدیر مربوطه به دبیرخانه در خصوص استقرار یک ایستگاه فضایی با قابلیت ارسال و یا دریافت فرکانس مذکور مطابق اطلاعات اعلام شده، فعال و در حال کار در نظر گرفته خواهد شد. مدیر مربوطه باید در اسرع وقت و حداکثر ۳۰ روز پس از زمان تعیین شده در ماده ۱۱,۴۴ موارد را به دبیرخانه اعلام نماید. به طور خلاصه می‌توان گفت در WRC-19 در رابطه با شبکه‌های غیرژئو (ابرمنظومه‌ها) یک رویکرد جدید مرحله به مرحله در نظر گرفته شده است. در این رویکرد مرحله به مرحله ایجاد تعادل بین پیشگیری از احتکار طیف، عملکرد صحیح روش هماهنگی و نیازمندی‌های عملیاتی مرتبط با منظومه غیرژئو دارای اهمیت بالایی است. بر این اساس طبق RES-35 روند شروع به کار منظومه باید به صورت زیر باشد[8]:

- دوسال پس از تایید، ۱۰ درصد شبکه راه‌اندازی شده باشد.
- پنج سال پس از تایید، ۵۰ درصد شبکه راه‌اندازی شده باشد.
- هفت سال پس از تایید، ۱۰۰ درصد شبکه راه‌اندازی شده باشد.

در صورتی که یک ابرمنظومه دقیقا پس از WRC-19 اطلاعات خود را در ITU ثبت کرده باشد، مطابق شکل ۳-۹ باید مقاطع زمانی را رعایت نماید و نهایتا در سال ۲۰۲۶ کل منظومه ثبت شده خود را تکمیل نماید.



شکل ۳-۹- زمان‌بندی حداکثری تکمیل ابرمنظومه مصوب در WRC-19 [8]

با توجه به موارد بیان شده، اگر طبق فرآیند سه مرحله‌ای در بازه‌های دو، پنج و هفت ساله بخش تعیین شده از شبکه راه‌اندازی شود، تخصیص منابع مطابق موارد اعلام شده انجام خواهد شد. در صورتی‌که شبکه در بازه‌های زمانی تعیین شده به میزان مورد نظر راه‌اندازی نشود، شرایط متفاوت خواهد بود. برای شرایطی که در هر بازه زمانی تعیین شده راه‌اندازی شبکه به اهداف مشخص شده نرسد، مدیر شبکه باید اقدام به ویرایش مشخصات شبکه به صورت زیر نماید[1]:

- اگر در پایان دوره دو ساله تعداد ماهواره‌های اعلام شده برای استقرار کمتر از ۱۰ درصد کل ماهواره‌های تایید و منتشر شده در بخش I-S از IFIC برای شبکه باشد (عدد کسری به سمت پایین اصلاح و تبدیل به عدد صحیح می‌شود)، مدیر شبکه اقدام به ویرایش اطلاعات می‌نماید. تعداد ماهواره‌های ویرایش شده نباید بیشتر از ۱۰ برابر تعداد ایستگاه‌های فضایی اعلام شده برای استقرار باشد.
- اگر در پایان دوره پنج ساله تعداد ماهواره‌های اعلام شده برای استقرار کمتر از۵۰ درصد کل ماهواره‌های تایید و منتشر شده در بخش I-S از IFIC برای شبکه باشد

1 Resolves 11

(عدد کسری به سمت پایین اصلاح و تبدیل به عدد صحیح می‌شود)، مدیر شبکه اقدام به ویرایش اطلاعات می‌نماید. تعداد ماهواره‌های ویرایش شده نباید بیشتر از دو برابر تعداد ایستگاه‌های فضایی اعلام شده برای استقرار باشد.

- اگر در پایان دوره هفت ساله تعداد ماهواره‌های اعلام شده برای استقرار کمتر از ۱۰۰ درصد کل ماهواره‌های تایید و منتشر شده در بخش I-S از IFIC برای شبکه باشد، مدیر شبکه اقدام به ویرایش اطلاعات می‌نماید. تعداد ماهواره‌های ویرایش شده نباید بیشتر از تعداد ایستگاه‌های فضایی اعلام شده برای استقرار باشد.

همچنین اطلاعات مورد نیاز برای ثبت ابرمنظومه که باید به ITU اعلام شود، مطابق Annex 1 از RES-35 به شرح زیر است:

- اطلاعات شبکه ماهواره‌ای
- نام شبکه ماهواره‌ای
- نام مدیر مربوطه
- نماد کشور مربوطه
- مرجع API، درخواست هماهنگی، و یا اعلام موافقت در صورتی‌که وجود دارد.
- تعداد کل ایستگاه‌های فضای استقرار یافته در هر سطح مداری، با قابلیت ارسال و یا دریافت در فرکانس تخصیص یافته
- تعداد سطوح مداری مشخص شده در آخرین اعلام موافقت منتشر شده در بخش I-S از مستند IFIC[1] برای تخصیص فرکانس‌هایی که ایستگاه‌های فضایی استقرار پیدا کرده‌اند.
- اطلاعات پرتاب برای هر ایستگاه فضایی
- نام تأمین‌کننده پرتابگر
- نام پرتابگر
- نام سایت پرتاب
- تاریخ پرتاب
- مشخصات هر ایستگاه فضایی

1 International Frequency Information Circular

- محدوده‌های فرکانسی از محدوده‌های اعلام شده که ایستگاه فضایی قادر به ارسال و یا دریافت در آن فرکانس‌ها داشته باشد.
- مشخصات مداری ایستگاه فضایی (ارتفاع اوج و حضیض، انحراف مداری، آرگومان حضیض)
- نام ایستگاه فضایی

در حال حاضر تعدادی از شرکت‌ها برای ارایه سرویس اینترنت ماهواره‌ای با ابرمنظومه‌ها، موفق به کسب مجوز از ITU شده‌اند. بسیاری از شرکت‌های دیگر نیز اقدام به فایلینگ جهت کسب مجوز نموده‌اند. در جدول ۳-۲- آخرین وضعیت مجوزهای ITU صادر شده برای شرکت اصلی ارایه‌دهنده اینترنت ماهواره‌ای با ابرمنظومه آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اکثر این منظومه‌ها درخواست توسعه شبکه خود را داشته‌اند که مجوز آن در دست بررسی در ITU است.

جدول ۳-۲- آخرین وضعیت مجوزهای ITU شرکت‌های اصلی ارایه‌دهنده اینترنت ماهواره‌ای با ابرمنظومه تا سال ۲۰۲۰ 0[9]

شرکت	تعداد ماهواره	باند فرکانسی	وضعیت	تاریخ تایید مجوز
Space X	۷۵۱۸	V	تایید نهایی	Dec 2019
	۴۴۰۹	Ka, Ku	تایید نهایی	Mar 2018
	۳۰۰۰۰	E, Ka, Ku	اقدام برای مجوز	
Amazon	۳۳۲۶	Ka	تایید نهایی	Jul 2020
WorldWu (OneWeb)	۱۲۸۰	V	تایید نهایی	Aug 2020
	۷۲۰	V, Ka, Ku	تایید نهایی	Jun 2017
	۴۷۸۴۴	Ka, Ku	اقدام برای مجوز	
Telesat	۱۱۷	Ka	تایید نهایی	Nov 2017
	۱۱۷	V	تایید نهایی	Nov 2018
	۱۶۷۱	Ka	اقدام برای مجوز	
O3B	۴۲	Ka	تایید نهایی	Jun 2018
	۷۰	Ka	اقدام برای مجوز	
ViaSat	۲۰	V, Ka	تایید نهایی	Apr 2020
	۲۸۸	V, Ka	اقدام برای مجوز	

بحث بر روی مقررات در زمینه ابرمنظومه‌ها در نشست‌های ITU (بعد از WRC-2019) همچنان در جریان است. مسائل و چالش‌های بسیار مهمی با حضور ابرمنظومه‌ها در سال‌های آتی به وجود خواهد آمد.

۳-۵. چالش‌های حقوقی با حضور ابرمنظومه‌ها

در بخش قبل معرفی از نهادهای قانون‌گذار در زمینه ابرمنظومه‌ها و آخرین قوانین و مقررات مربوط به آن‌ها صورت گرفت. واقعیت این است که نهادهای قانون‌گذار نظیر کوپوس و ITU علی‌رغم پیشرفت‌های صورت گرفته، بسیار عقب‌تر از چالش‌ها و مسائل روز و پیش‌رِوی ابرمنظومه‌ها هستند. در حال حاضر بحث ابرمنظومه‌ها از لحاظ حقوقی برای کشورهای مختلف چالش‌های متفاوتی را ایجاد نموده است که از آن جمله می‌توان به مدیریت طیف و حقوق حاکمیتی، مدیریت تداخل، موضوع پسماندهای فضایی و دسترسی عادلانه به مدار لئو اشاره کرد. در این بخش به بررسی جنبه‌های مختلف این چالش‌ها پرداخته خواهد شد[10].



شکل ۳-۱۰- مهم‌ترین چالش‌های حقوقی پیشروی ابرمنظومه‌ها

۳-۵-۱. مدیریت طیف و حقوق حاکمیتی

از آنجایی‌که منابع فرکانسی/ مدار از منابع کمیاب تلقی می‌شوند، در صورت عملیاتی شدن تعداد زیادی از ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای، چالش‌ها و سوالات ذیل مطرح می‌شود:

- چه اتفاقی برای باندهای فرکانسی در حال استفاده خواهد افتاد؟
- پیامدهای استفاده از مقررات موجود در ITU برای ابرمنظومه‌ها چه خواهد بود؟
- آیا دولت‌ها در زمینه رگولاتوری استفاده از فرکانس در منظومه‌های ماهواره‌ای همانند سایر ادوات مخابراتی حوزه خود نقشی دارند؟
- چگونه ITU می‌تواند از احتکار و استفاده غیرموثر از طیف پیشگیری کند؟
- ثبت فرکانس یا همان ثبت API[1] در مورد ابرمنظومه‌ها چگونه خواهد بود؟ آیا شرکت‌ها همچنان باید هزاران فایلینگ برای ماهواره‌ها داشته باشند؟ یا تمام فرکانس‌های برنامه‌ریزی شده یکجا باید ثبت شوند؟
- آغاز بهره‌برداری[2] برای یک منظومه چگونه تعریف می‌شود؟ آیا با شروع بکار اولین ماهواره بهره‌برداری از منظومه آغاز می‌شود؟ آیا این بدان معنی است که ماهواره‌های پرتاب نشده، تاریخ شروع به کار یکسانی با ماهواره‌های پرتاب شده دارند؟

به نظر می‌رسد، چالش‌های بسیار بزرگی با حضور ابرمنظومه‌ها در حوزه‌های مدیریت طیف و حق حاکمیتی رخ می‌دهد، چالش‌هایی که مانند حق حاکمیتی رگولاتوری هم در سطح ملی مطرح است و مانند احتکار طیف و مدار در سطح جهانی مطرح خواهد شد.

به منظور جلوگیری از احتکار طیف، ITU باید مقررات سختگیرانه‌ای در مورد انتشار اطلاعات توسط متقاضیان طیف وضع نماید. اگر به عنوان مثال، نقاط عطف بیشتری در ارتباط با راه‌اندازی منظومه‌های ماهواره‌ای گنجانده شود، احتمال استفاده موثرتر از منابع طیف بیشتر می‌شود. با روش ثبت ماهواره فعلی پرتاب یک ماهواره با یک فرکانس خاص مشکلی ایجاد نمی‌کند ولی با ظهور ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای با تعداد زیادی ماهواره با فرکانس‌های متفاوت با زمان پرتاب متفاوت، چالش‌های مختلفی ایجاد می‌شود. پرتاب تدریجی در منظومه‌های ماهواره‌ای می‌تواند منجر به احتکار فرکانس‌ها شود. احتکار طیف، موجب عدم استفاده موثر از طیف فرکانس می‌شود. عدم قطعیت‌ها در مقررات می‌تواند منجر

---

1 Advanced Publication Infromation
2 Brining in use

به پیدا شدن روزنه‌های قانونی برای احتکار طیف گردد. بنابراین مقررات ITU مربوط به روش ثبت فرکانس در منظومه‌های ماهواره‌ای باید کاملا شفاف شود.

در زمینه حق حاکمیتی باید معاهدات حقوق سرزمینی[1] بین کشورها تصویب شود. ذکر این نکته ضرروی است که حقوق سرزمینی در اصول مرتبط با پخش تلویزیونی نیز وجود دارد. با این وجود، این اصول جز معاهدات الزام‌آور سازمان ملل و کوپوس نیست. از طرف دیگر بحث اینترنت ماهواره‌ای ارتباط دو طرفه است و با خدمات پخش همگانی در باندهای مشخص تفاوت جدی دارد. بر این اساس به نظر می‌رسد، هم کمیته کوپوس و هم ITU باید مقررات الزام‌آور برای حق سرزمینی با حضور ابرمنظومه‌ها تصویب نمایند. برخی اظهار نظرها از کشورهایی نظیر روسیه و چین نشان می‌دهد، این کشورها موافق سرویس‌دهی ابرمنظومه‌های خارجی نظیر اسپیس‌ایکس و وان‌وب در کشور خود نیستند [1]. از سوی دیگر شرکت‌های خصوصی نظیر وان‌وب و اسپیس‌ایکس نیز تاکنون تمایلی به ارایه سرویس بدون هماهنگی رگولاتورهای کشور ثالث نداشته‌اند. به طور مثال ایلان ماسک هرگونه سرویس‌دهی به چین بدون هماهنگی را رد کرده است[12]. در نمونه دیگر وان‌وب صراحتا اعلام کرده است که علت حذف لینک بین ماهواره‌ای در طرح ابرمنظومه خود توافق بهتر با رگولاتورهای منطقه‌ای است چرا که با طرح وان‌وب عملا ترافیک اینترنت به دروازه کامل مشخص و کنترل شده منتقل خواهد شد[11].

۳-۵-۲. محافظت در برابر تداخل

به طور بالقوه، استقرار این تعداد ماهواره مسائلی مانند تداخل با سایر ماهواره‌ها در مدار لئو، با ماهواره‌های موجود در مدار ژئو را ایجاد می‌کنند. همانطور که در مورد ماهواره‌های ژئو مطرح است، در مدار لئو هم اولویت با کاربری است که زودتر درخواست را به ITU تسلیم کند و استفاده از یک فرکانس خاص و موقعیت مداری از نظر حقوقی در برابر تداخل محافظت می‌شود. در۱۹۹۲ WRC، باندهای فرکانسی خاصی به خدمات موبایل ماهواره‌ای لئو اختصاص داده شد و پروتکل اطلاع‌رسانی دقیق ITU برای ایجاد هماهنگی و جلوگیری از ایجاد تداخل فنی ماهواره‌های لئو و سایر سیستم‌ها در باند فرکانسی به تصویب رسید. در

1 Landing Right

۱۹۹۷ WRC، ITU دوباره نزدیک به ۷ گیگاهرتز از طیف را به صورت جهانی به سیستم‌های غیرژئو اختصاص داد.

قابل ذکر است، مهم‌ترین گام نظارتی (رگولاتوری) در مورد ماهواره‌های لئو، معرفی ماده ۲۲ مقررات رادیویی (ITU (Radio Regulations است که در WRC 1997 شروع و متعاقباً در WRC 2000 تنظیم نهایی شد. در این بند محدودیت تراکم توان (EPFD) برای محافظت از ماهواره‌های ژئو در برابر ماهواره‌های غیرژئو مشخص می‌شود و سیستم‌های غیرژئو را قادر می‌سازد تا فرکانس‌ها را با سیستم‌های ژئو، بدون نیاز به هماهنگی با تک تک سیستم‌ها در سراسر جهان به اشتراک بگذارند. ماده ۲۲ آیین‌نامه رادیویی برای ماهواره‌های لئو بسیار مهم است چون نحوه اولویت‌دهی ITU را مشخص می‌کند و برای سرویس‌های ژئو اعمال نمی‌شود چون در حال حاضر نیازی نیست که سرویس‌های لئو در مقابل سرویس‌های ژئو، محافظت شوند. بنابراین، تنها تغییر قابل توجه در چارچوب حقوقی بین‌المللی قابل اجرا برای ماهواره‌های لئو معرفی ماده‌ای برای محافظت از ماهواره‌های ژئو در برابر ماهواره‌های لئو بوده است.

با حضور منظومه‌های ماهواره‌ای هیچ‌گونه تغییر یا انطباقی در مقررات ITU مشاهده نشده است. برخلاف آنچه در دهه ۱۹۷۰ در رابطه با منابع ژئو اتفاق افتاد، تاکنون هیچ فراخوانی برای ایجاد یک نظام حقوقی منحصر به لئو ایجاد نشده است. حتی وقتی ITU به طور خاص با این حجم از پیشنهاد منظومه‌های ماهواره‌ای در مدار لئو مواجه شد، اقدامی جهت ایجاد نظام حقوقی رگولاتوری جدید صورت نگرفت بلکه صرفا "یک فرآیند هماهنگی جدید"، چنانکه در شکل ۳-۹- نشان داده شد، ایجاد گردید. بنابراین به طور کلی یک روش روشن و واضح برای تخصیص فرکانس به ابرمنظومه‌های غیرژئو در ITU وجود ندارد.

در این میان بیشترین نگرانی‌ها مرتبط با ماهواره‌های ژئو است، دلیل اصلی این موضوع تردید در توانایی اپراتورهای ابرمنظومه‌های لئو برای جلوگیری از تداخل با ماهواره‌های ژئو می‌باشد. همچنین چون ماهواره‌های کوچک به ویژه ماهواره‌های مکعبی به صورت دسته‌های بزرگ پرتاب می‌شوند (حدود ۱۰۰ و حتی بیشتر) نگرانی در خصوص عدم قرارگیری دقیق

در مدار پیش‌بینی شده و یا وجود ماهواره‌های خارج از کنترل[1] و یا پرتاب بدون مجوز یا خلاف مجوز ITU، وجود دارد. بنابراین خطر پرتاب کنترل نشده و تداخل‌های احتمالی افزایش می‌یابد.

تاکنون اپراتورهای منظومه‌ای لئو پیشنهادات زیادی برای مدیریت تداخل با سایر منظومه‌ها و ماهواره‌های ژئو داشته‌اند. بطور مثال اسپیس‌ایکس پیشنهاد کرده است که اپراتورهای ماهواره‌های لئو اطلاعاتِ مربوطه برای نشان دادن زاویه نشانه[2] روی آنتن ماهواره را به منظور کاهش تداخل درون خطی[3] با ماهواره‌های ژئو به اشتراک بگذارند. وان‌وب نیز متعهد شده که هماهنگی‌های لازم برای جلوگیری از ایجاد تداخل را انجام دهد. از آنجا که اپراتورها قصد صریح خود را برای همکاری برای دستیابی به هماهنگی اعلام کردند، منطقی به نظر می‌رسد که منتظر نتیجه همکاری و هماهنگی اپراتورها برای حل مشکل تداخل ماند. شاید در حال حاضر تلاش برای ایجاد مقررات اضافی در زمینه تداخل ضروری نباشد.

۳-۵-۳. دسترسی عادلانه به منابع لئو

براساس اصل دسترسی عادلانه که کلیه قوانین ITU برای تحقق آن پایه‌ریزی شده‌اند، همه کشورها (چه دارای صنعت فضایی باشند یا نباشند) در هر زمان امکان دسترسی به فضا و طیف لازم برای برقراری ارتباط از/به ماهواره‌ها (بدون ایجاد یا دریافت تداخل از/ به دیگران) را داشته باشند. از این اصل بطور خاص در تقسیم اسلات‌های مداری و روش‌های تخصیص طیف برای مدارهای ژئو (plan)، از زمان استفاده از ماهواره برای پخش تلویزیونی از دهه ۱۹۶۰ بهره گرفته شد. امروزه، تخصیص مدار و باند فرکانسی به ماهواره‌های غیرژئو با اصل دسترسی عادلانه صورت نمی‌گیرد و تخصیص در این مدارها و طیف مرتبط، بر اساس قانون دریافت خدمات بر حسب اولویت ثبت نام (First Come, First Served) انجام می‌شود. با توجه به افزایش تعداد ماهواره‌های ثبت و پرتاب شده، به ویژه به عنوان بخشی از ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای و با توجه به افزایش نگرانی از ازدحام بیش از حد مدار لئو و قبل از

1 Rogue satellite
2 Steering angle
3 Inline events

خارج از دسترس شدن این منابع برای دولت‌های فاقد فناوری فضایی، زمان مناسبی برای مطرح شدن موضوع اجرای اصل دسترسی عادلانه به منابع غیرزمین‌آهنگ می‌باشد.

برای پاسخ به این سوال که آیا برای لئو همانند ژئو نیاز به ایجاد و توسعه یک نظام حقوقی جداگانه هستیم یا نه؟، لازم است ابتدا چارچوب حقوقی فعلی را تجزیه و تحلیل کنیم. اصول محدود منابع طبیعی که در سال ۱۹۷۳ برای منابع مدار ژئو مطرح شد، برای هر مدار دیگری از جمله لئو قابل اجرا است. صلاحیت و قدرت قلمرو ITU برای تمام مدارها در کنفرانس سرانِ مختار ITU سال ۱۹۹۸ در مینیاپولیس رسمیت یافته است. علاوه بر این، در سال ۱۹۹۲ تعهدات ماده ۴۴ نظام‌نامه ITU گسترش یافت تا در همه مدارها اعمال شود. بنابراین، همانطور که از چارچوب حقوقی فعلی (سال ۲۰۲۰) برمی‌آید، در بهره‌برداری از موقعیت‌های مداری لئو نیز باید معیارهای استفاده موثر، دسترسی عادلانه و مسائل اقتصادی صورت گیرد.

با این وجود و علی رغم ظهور ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای و ماهواره‌ها در مدار لئو، تخصیص فرکانس به این منظومه‌های غیرژئو همچنان به صورت هماهنگی فرکانسی دریافت خدمات بر حسب اولویت ثبت نام می‌گیرد. با پرتاب صدها ماهواره در سال‌های آینده مسئله مهمی مانند عدم دسترسی عادلانه در مدار غیر ژئو، می‌تواند مانع جدی برای چرخیدن، مانور مداری و کارکرد فضاپیماها در آینده نزدیک باشد.

در حال حاضر تنها چند کشور مالکیت ماهواره‌های غیرژئو را در اختیار دارند. بنابراین اختلاف سر مالکیت مدارهای غیرژئو، در سال‌های آتی به شدت اوج خواهد گرفت حتی بیشتر از وضعیت فعلی (سال ۲۰۲۰) و برخی از کشورها به طور یک جانبه از این مدارها و طیف‌ها بدون در نظر گرفتن حقوق سایر کشورها بهره‌برداری خواهند کرد. سرانجام کشورهایی که امروزه دارای صنعت فضایی نیستند و یا در حال حاضر علاقمندی برای توسعه بخش فضایی ندارند، وجود ابرمنظومه‌ها مانع جدی برای رشد فناوری فضایی آنها خواهد بود و یا به طور باورنکردنی با وجود ابرمنظومه‌های خارجی، فعالیت بخش فضایی آنها کاهش یافته و حتی در نهایت به خدمات ارایه شده توسط آنها وابسته و مستقیماً مورد هدف قرار می‌گیرند. در حقیقت، به مسئله کمبود مدار و طیف برای پایدارای فعالیت طولانی مدت منظومه‌های ماهواره‌ای باید به طور جدی توجه شود. عدم وجود هرگونه بحث در مورد

دسترسی عادلانه برای منابع مداری غیرزمین‌آهنگ فقط نگران‌کننده نیست بلکه به طور بالقوه با ماده اول و دوم معاهده فضای ماورای جو کوپوس نیز تضاد دارد.

هنگام بررسی اینکه آیا اصل دسترسی عادلانه در مدارات غیر ژئو اجرا می‌شود یا نه؟ ممکن است این سوال در ذهن شکل بگیرد که با توجه به وسعت مدار مئو و لئو نسبت به ژئو آیا اجرای اصل دسترسی عادلانه لازم و ضروری است؟ جواب مثبت است چون با وجود وسیع بود مدارات غیر ژئو و احتمال کم شلوغ شدن مدار مئو (۱۵۰ برابر وسیع‌تر از مدار ژئو و ۵ برابر خلوت‌تر)، هنوز هم توجه به این نکته لازم و ضروری به نظر می‌رسد که مدارهای غیر زمین‌آهنگ در دستیابی راحت‌تر و ارزان‌تر از مدارات ژئو هستند. در میان مدارهای ارزان قیمت لئو، وجود مدارها با زاویه میل متفاوت، فاصله مداری و سرعت مداری بیشتر، همه این‌ها به معنای پرتاب‌های متفاوت است و این موضوع در برخی موارد موجب افزایش جدی هزینه‌های عملیاتی و در نتیجه کاهش سودآوری منظومه‌های ماهواره‌ای خواهد شد. علاوه بر این، وجود کمربند تابشی ون آلن نیز بر روی ماهواره‌ها علی‌الخصوص ماهواره‌های مئو تاثیرگذار است. ضرورت کار در مدارهای سخت‌تر (نزدیک کمربند ون آلن) اپراتورهای ماهواره‌ای را مجبور به انتخاب بین دو گزینه ماهواره با طول عمر کوتاه‌تر نسبت به بقیه ماهواره‌ها در مدار لئو و یا ماهواره‌های گران قیمت‌تر برای طول عمر طولانی‌تر می‌نماید. این شرایط بدان معنا است که آزادی انتخاب واقعی برای افرادی که دیرهنگام اقدام به ثبت مدار و فرکانس نمایند، وجود نخواهد داشت زیرا بهترین مدارها قبلاً با رویکرد ارایه خدمت بر اساس اولویت ثبت نام شده‌اند. پس آخرین نفر درخواست‌کننده با شرایط نامطلوبی از نظر فرکانس و مدار مواجه خواهد بود. مدارهای نزدیک‌تر و ارزان به سرعت، پر خواهند شد و بنابراین برای کشورها یا افرادی که دیرهنگام اقدام به پرتاب منظومه نمایند، هزینه‌ها بسیار بالا خواهد بود. اگر فضای مداری و فرکانس برای ثبت و کار منظومه ماهواره‌ای در مئو وجود داشته باشد، منظومه مئو در رقابت با سیستم‌های لئو، محکوم به شکست خواهد بود.

به علت عدم وجود یک رویکرد مبتنی بر دسترسی عادلانه به منابع مدارهای غیرژئو، کشورها وادار به ثبت منظومه‌هایی شده‌اند که هیچ وقت قرار نیست، عملیاتی شوند. این کشورها یا بازیگران شاید هیچ وقت منابع و یا برنامه‌ای برای عملیاتی کردن این منظومه‌ها نداشته باشند. این موضوع می‌تواند بر کلیه فعالیت‌های اپراتورهای ماهواره‌ای در سراسر جهان تأثیر بگذارد و باعث افزایش مشکلات بوروکراتیک برای اپراتورهای ماهواره‌ای و دولت‌ها شود. در

دهه ۱۹۹۰ با وجود ۱۶ پیشنهاد تایید شده برای منظومه‌های تجاری ماهواره‌ای، فقط دو مورد از آنها عملیاتی شدند و هر دو مورد با مشکلات ورشکستگی در سال‌های پس از دهه ۹۰ رو به رو شدند. در حقیقت می‌توان گفت که ثبت ماهواره برای یک منظومه ماهواره‌ای یک چیز است، عملیاتی شدن آن یک چیز دیگر است. ثبت (فایلینگ) و ارایه پیشنهاد منظومه، تنها راهی برای رقابت و یا احتکار مدار و انبار طیف به کمک ماهواره‌های به اصطلاح کاغذی می‌باشد که این کار یک دهه‌ی نگرانی ایجاد کرد. واقعیت این است که اغلب اوقات تاریخ تکرار می‌شود. در حال حاضر نیز توسعه تعدادی زیادی از ابرمنظومه‌ها پیشنهادی متوقف شده است و یا برخی از آنها با سرعت بسیار کند پیش می‌روند. در بین این منظومه‌ها، از طرف تعدادی از آنها حتی بعد از اعلام و ثبت نام، اقدامی دیگری صورت گرفته است به عنوان مثال منظومه ماهواره‌ای سامسونگ چنین شرایطی را دارد.

البته باید به این نکته نیز اشاره کرد که ترس از اشباع بیش از حد لئو، ممکن است اغراق‌آمیز باشد. چرا که از حدود ۲۰ هزار ماهواره پیشنهادی، کمتر از ۱۰٪ آنها احتمالا امکان دارد که پرتاب شوند و طول عمر ماهواره‌های مکعبی یا ماهواره‌های کوچک خیلی کوتاه است. ممکن است، اجرای اصل دسترسی عادلانه در مدار غیرژئو، اثر منفی و عکس داشته باشند چون با معرفی مدارها و فرکانس‌های برنامه‌ریزی شده (plan)، تقسیمات طیفی بیشتر اتفاق می‌افتد و یک لایه اضافه بروکراسی ایجاد خواهد شد.

در دستور کار ۹۲ صفحه‌ای WRC-19 در سال ۲۰۱۹، کلمات دسترسی عادلانه سه بار ذکر شده است، اما هرگز به طور مستقیم به ماهواره‌های غیرژئو و کاربردهای آنها اشاره‌ای نشده است. همچنین به منظومه سه بار اشاره شده است، اما هرگز به تعداد زیادی ماهواره که قرار است، در آینده نزدیک پرتاب شوند، اشاره‌ای نشده است. اکنون و پس از تجزیه و تحلیل ضرورت مطرح شدن مسئله، باید برای کلیه افراد روشن شود که این موضوع ارزش بررسی دارد و در ضمن امکان طرح مسئله وجود دارد. البته باید مراقب افراط در مسئله بود که ممکن است، باعث از بین رفتن و متوقف شدن فعالیت‌های جدید در حوزه جدید فضایی شود (مانند ابرمنظومه‌های پهن‌باند که می‌توانند تأثیرات باورنکردنی در سطح جهانی داشته باشد). از طرف دیگر، مطرح نکردن موضوع به صورت جدی می‌تواند به معنای اجازه دادن به کشورها یا شرکت‌ها با توانمندی فضایی باشد که برای کلیه منابع موجود تصمیم‌گیری نمایند. شروع این بحث و انجام این کار تا حد ممکن، می‌تواند یادآوری مفیدی برای

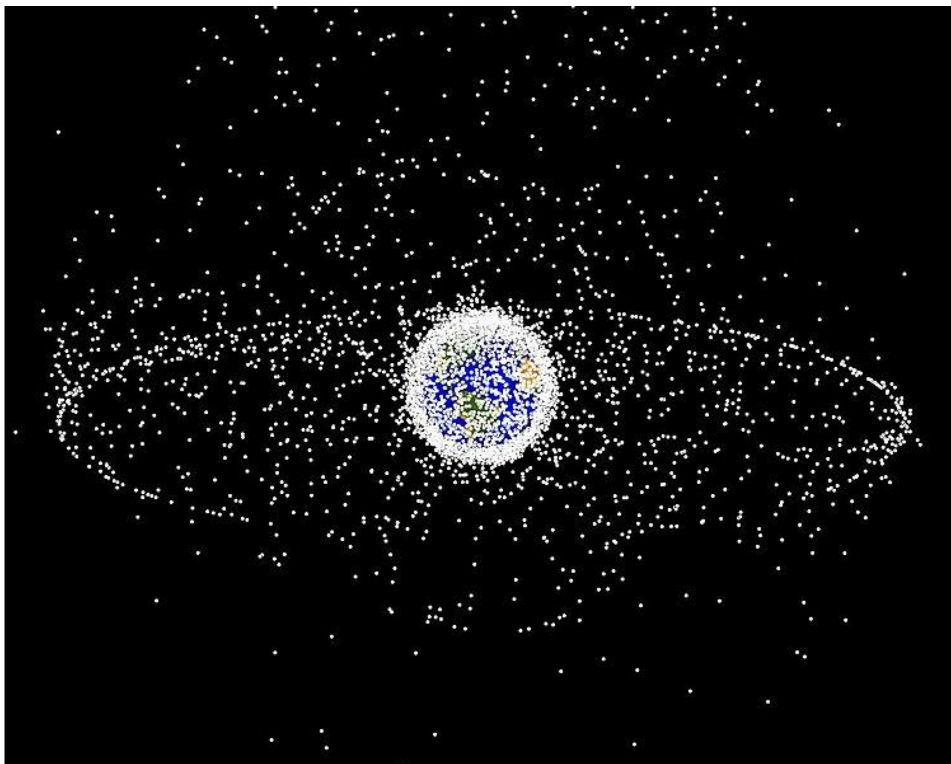
معاهدات سازمان ملل[1] و اصول اولیه آن باشد و اولین گام مثبت برای باز تعریف معنای دسترسی عادلانه، در عصر ابرمنظومه‌ها، ارایه نماید[10].

۳-۶. پسماندهای فضایی با حضور ابرمنظومه‌ها

زباله‌های فضایی[2]، پسماندهای فضایی[3]، یا آشغال‌های فضایی[4] در واقع شامل تمامی بقایای فعالیت بشر در فضا است، از قطعات سفینه‌ها گرفته تا قسمت‌هایی از سفینه که در مراحل مختلف مأموریت فضایی از آن جدا می‌شوند و یا هر چیز دیگری که در مدار زمین رها شده و دیگر کاربردی ندارد. برطبق گزارش ناسا، میزان پسماندهای فضایی به صورت تصاعدی در حال افزایش است و به مرز بحران رسیده است. پسماندهای فضایی خطری بسیار جدی نه فقط برای ابرمنظومه‌ها که برای تمام ماهواره‌ها و مأموریت‌های فضایی در عصر فضایی جدید است. تا جایی که پروفسور ویتالی آدوشکین استاد آکادمی علوم روسیه، می‌گوید "پسماندهای فضایی، بخصوص پسماندهای بجامانده از ماهواره‌های نظامی، می‌تواند باعث تنش سیاسی و نظامی بین کشورهای حاضر در فضا شود. کشوری که مالک ماهواره آسیب‌دیده یا تخریب شده است، عموما به زحمت می‌تواند عامل اصلی این برخورد را شناسایی کند و این یک مسئله سیاسی خطرناک است"۰. پسماندهای فضایی با سرعتی بیش از ۱۷۵۰۰ مایل بر ساعت معادل با ۲۸۱۶۰ کیلومتر بر ساعت در حال چرخش هستند لذا برخورد اجسام بسیار کوچک از آنها با سیستم‌های فضایی نیز می‌تواند فاجعه بار باشد. طبق برآورد شبکه نظارت و ارزیابی فضایی آمریکا[5] بیش از ۱۲۸ میلیون قطعه کوچکتر از ۱ سانتی‌متری و حدود ۹۰۰ هزار قطعه ۱ تا ۱۰ سانتی‌متری و بیش از ۳۴ قطعه بزرگتر از ۱۰ سانتی‌متری در فضا وجود دارد[15]. برخورد با یک شیء ۱۰ سانتی‌متری منجر به قطعه قطعه شدن یک ماهواره معمولی می‌شود، یک شیء ۱ سانتی‌متری به احتمال زیاد یک فضاپیما را غیرفعال کرده و حتی به ایستگاه فضایی بین‌المللی نفوذ می‌کند و یک شیء ۱ میلی‌متری می‌تواند سیستم‌های فرعی موجود در فضاپیما را از بین ببرد. شکل ۳-۱۱-

1 OST
2 Space Debris
3 Space waste
4 Space garbage
5 US Space Surveillance Network

تصویر تولید شده توسط رایانه است که پسماندهای فضایی را از نگاه بالا نشان می‌دهد. دو مدار اصلی پسماندهای باقیمانده در مدار ژئو و هاله اجسام در مدار پایین لئو در تصویر قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱۱- تصویر تولید شده توسط رایانه که پسماندهای فضایی را از نگاه بالا نشان می‌دهد. دو مدار اصلی پسماندهای باقیمانده در مدار ژئو و هاله اجسام در مدارهای پایین‌تر در تصویر قابل مشاهده است [14].

میزان پسماندهای فضایی در مدارهای پایین در نیم قرن اخیر به میزان چشم‌گیری افزایش یافته و در صورتی که این پسماندها پاک نشوند، برخورد "زنجیره‌ای" این قطعات سرگردان با همدیگر، ذراتی کوچکتر و متعددتر ایجاد خواهد کرد. این ایده توسط دانشمند ناسا دونالد کسلر در سال ۱۹۷۸ بیان شد و به سندروم کسلر[1] معروف است [16]. بر طبق این سندروم

1 The Kessler Syndrome

اگر میزان زیادی پسماند فضایی در فضا باشد، می‌تواند باعث ایجاد یک واکنش زنجیره‌ای از برخوردها شود و برخوردهای بیشتر قطعات بیشتری تولید می‌کنند تا جایی که نهایتا مدار زمین غیرقابل استفاده خواهد شد.

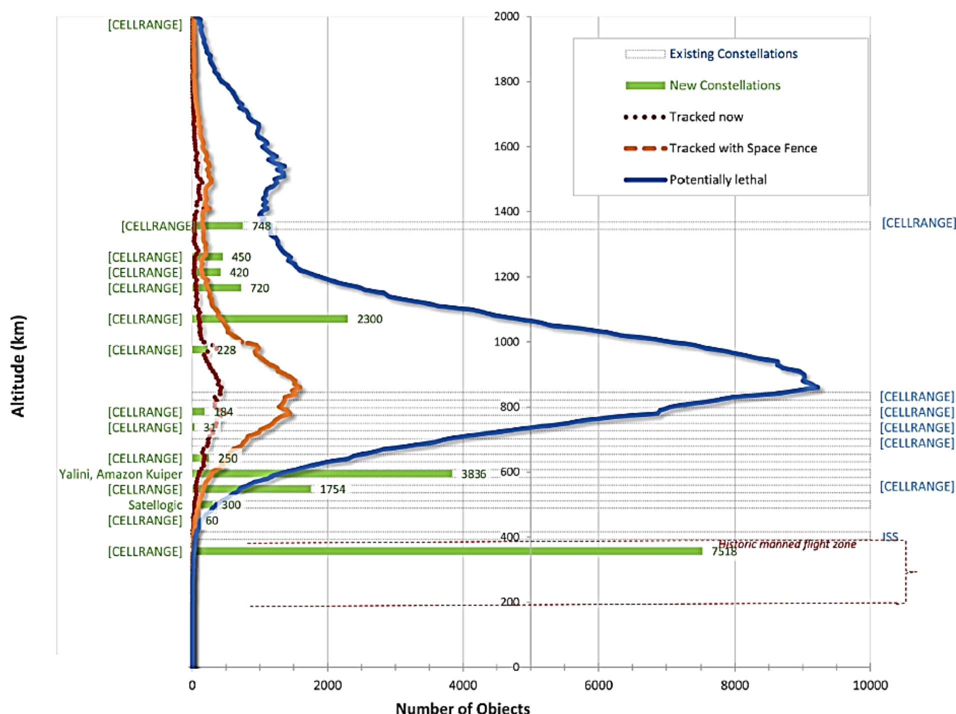
در سال‌های اخیر و با افزایش حجم و تعداد پسماندهای فضایی نمونه‌هایی از خرابی و برخورد این پسماندها با سامانه‌های فضایی گزارش شده است. چند مورد از مهم‌ترین اتفاقات فضایی ناشی از حضور پسماندهای فضایی به شرح زیر هستند:

- در سال ۱۹۹۶، یک ماهواره فرانسوی به علت برخورد با قطعات بجا مانده از یک موشک فرانسوی که ده سال پیش از آن منفجر شده بود، آسیب دید.
- در سال ۲۰۰۹ یک ماهواره از رده خارجِ روسیه با ماهواره تجاری ایریدیوم آمریکا برخورد و آن را منهدم کرد. این برخورد دو هزار قطعه دیگر (پسماند) در فضای اطراف کره زمین رها کرد.
- چین در سال ۲۰۰۷ برای انهدام یک ماهواره از رده خارج خود از یک موشک استفاده کرد که برخورد موشک با آن ماهواره بیش ار ۳۰۰۰ قطعه در مدار زمین رها کرد. شش سال بعد، ماهواره بلیتس روسیه، به دلیل برخورد با یکی از این قطعات از کار افتاد.
- در جولای ۲۰۱۱ خطر برخورد یکی از این اجسام به ایستگاه بین‌المللی فضایی به وجود آمد و در حالی که فضانوردان مستقر در ایستگاه در دو کپسولِ سایوز پناه گرفته بودند، شئ ناشناخته از فاصله‌ای در حدود ۳۳۰ متری ایستگاه رد شد.
- ایستگاه فضایی بین‌المللی در سال ۲۰۱۴، پنج بار مجبور شد برای جلوگیری از برخورد با پسماندهای فضایی به مانورهایِ تغییر مسیر، متوسل شود.

مطابق برنامه‌ریزی‌های انجام شده، در سال‌های آتی (بعد از سال ۲۰۲۰) هزاران ماهواره در ابرمنظومه‌های لئو، به فضا پرتاب خواهند شد. این ابرمنظومه‌ها اکثرا در مدار ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد، مدیریت برخورد این ابرمنظومه‌ها با پسماندهای فضایی بسیار چالش برانگیز باشد. در شکل ۳-۱۲- وضعیت پسماندهای فضایی در مدار لئو آورده شده است. در این شکل خطِ قرمز رنگ مربوط به پسماندهای بزرگتر از ۱۰ سانتی‌متر است که عموما قابل ردیابی هستند و لذا امکان جلوگیری از برخورد در مورد آن‌ها وجود دارد. خط نارنجی پسماندهای فضایی با ابعاد ۵ سانتی‌متر و بزرگتر است که با

استفاده از برخی تجهیزاتِ سال‌های اخیر (نظیر رادار فنس در آمریکا بخش ۳-۶-۲. قابل ردیابی خواهند بود. اما خط آبی رنگ هزاران قطعه پسماند سرگردان با ابعاد کمتر از ۵ سانتی‌متر را نشان می‌دهد که با فن‌آوری‌های موجود، در حال حاضر قابل ردیابی نیستند و دور نمایی از ردیابی آن‌ها نیز در آینده نزدیک وجود ندارد. همانطور که مشاهده می‌شود، این اجسام یک ریسک بسیار اساسی برای ابرمنظومه‌ها هستند. اکثر این پسماندها در فاصله ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتری هستند و بسیاری از آنها در اثر انفجار ماهواره چینی ایجاد شده‌اند.

در این نمودار، همچنین محل‌های مورد نظر برای استقرار منظومه‌های جدید نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اکثر منظومه‌ها سعی کرده‌اند از مدار ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر اجتناب کنند. با این وجود باید گفت مسئله حضور این تعداد پسماند فضایی و ابرمنظومه‌ها در مدار لئو بسیار پیچیده است. واقعیت این است که اکثر برخوردهای فضایی در مدار لئو در سال‌های آتی از نوع پسماند با پسماند خواهد بود. با توجه به اینکه بخش زیادی از پسماندهای کوچک نیز قابل ردیابی نیستند، به نظر می‌رسد، پیش‌بینی در مورد مسیر حرکت و نحوه برخورد پسماندها تقریبا غیرممکن باشد. تنها راه‌حلِ فعلی، داشتن سیستم مانور خودکار در ماهواره‌ها است که در صورت نزدیک شدن یک پسماند فضایی، ماهواره به سرعت عکس‌العمل نشان داده و محل حرکت خود را تغییر دهد.



شکل ۳-۱۲- پسماندهای فضایی و محل ابرمنظومه‌ها در سال‌های آتی[17]

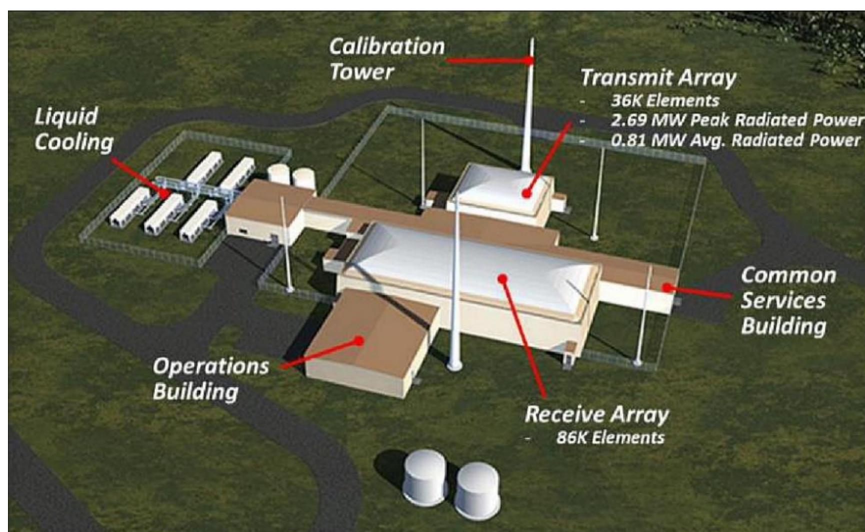
در مجموع به نظر می‌رسد، در دوران حضور ابرمنظومه‌ها، مسئله پسماندهای مدار لئو بسیار پراهمیت خواهد بود. در حال حاضر پروژه‌های بسیاری برای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های پسماندهای فضایی در کشورهای مختلف تعریف شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

۳-۶-۱. ردیابی پسماندهای فضایی

چنانکه عنوان شد، با حضور میلیون‌ها پسماند فضایی در مدار لئو و احتمال برخوردهای مداوم پسماند با پسماند، به کارگیری ابرمنظومه‌ها در این مدار، بسیار چالشی خواهد بود. بر این اساس پروژه‌های مختلفی برای ردیابی، جمع‌آوری داده و مدیریت پسماندهای فضایی در سال‌های اخیر تعریف شده است. یکی از این پروژه‌های بزرگ، رادارِ فنس آمریکایی می‌باشد که در آپریل ۲۰۲۰ به بهره‌برداری رسید. این رادار، توانایی ردیابی پسماندهای فضایی با ابعاد بیش از ۵ سانتی‌متر را از روی زمین دارد و با هزینه‌ای بالغ بر ۱,۵ میلیارد دلار توسط

شرکت لاکهد مارتین[1] به بهره‌برداری رسید. شکل ۳-۱۳- بخش‌های مختلف این رادار بزرگ را نشان می‌دهد.

پروژه جالب توجه دیگر در این زمینه منظومه اسکای‌لارک[2] می‌باشد. اسکای‌لارک یک منظومهٔ ۱۲ ماهواره‌ای در مدار قطبی در ارتفاع ۵۷۵ کیلومتری است. هر ۱۲ ماهواره دارای دوربین هستند و فضای بین لئو و ژئو را رصد می‌کنند. این پروژه در واقع اولین ردیابی پسماندهای فضایی از فضا به جای ردیابی از روی زمین است. سپس اطلاعات بدست آمده، برای جلوگیری از تصادف و آنالیز پسماندها مورد استفاده قرار می‌گیرد. سه ماهواره اولی از این منظومه تا سال ۲۰۲۲ ساخته خواهد شد. این پروژه توسط شرکت کانادایی نورت‌استار[3] پیگیری می‌شود اما پیش‌بینی شده است که اطلاعات بدست آمده برای تمام ابرمنظومه‌های کشورهای مختلف قابل استفاده باشد.



شکل ۳-۱۳- بخش‌های مختلف پروژه رادار فنس آمریکا، کارکرد این رادار در پیش‌بینی و ردیابی اجسام بسیار کوچک فضایی و ردیابی پسماندهای با ابعاد بیش از ۵ سانتی‌متر می‌باشد [18]

1 Lookhed martine Corporation
2 Skylark
3 NorthStar

۳-۶-۲. قوانین مرتبط با پسماندهای فضایی

چنانکه عنوان شد، موضوع پسماندهای فضایی و مشکلات ناشی از آن‌ها بحث نسبتا جدیدی می‌باشد. در حقیقت این بحث از سال ۲۰۰۷ و با انهدام ماهواره چینی و افزایش قابل توجه ماهواره‌ها به صورت جدی مورد توجه قرار گرفته است. در زمان تنظیم معاهداتِ سخت فضایی در سال‌های ۱۹۷۰ الی ۱۹۸۰ هرچند پیش‌بینی‌هایی از مسئله پسماندهای فضایی وجود داشت. اما بدلیل اهمیت نداشتن مسئله پسماندهای فضایی، به صورت خاص در هیچ معاهده‌ای مطرح نشد. هرچند که معاهده مسئولیت، در زمینه برخورد دو ماهواره و مسئولیت کشورِ مقصر مفادی را دارد ولیکن این معاهده اشارهٔ مشخص به پسماندها ندارد. همچنین معاهدهٔ مسئولیت در زمینه برخورد دو فضاپیما و تعیین مسئولیت دارای ضعف‌های حقوقی فراوانی است. به عنوان مثال این معاهده تفکیکی بین دولت و شرکت‌های خصوصی پرتاب‌کننده قائل نشده است. مالکیت بسیاری از پسماندهای فضایی سرگردان در فضا مشخص نیست و نحوه رسیدگی به آنها و مرجع بررسی تصادم‌های ناشی از آن‌ها در هاله‌ای از ابهام است.

در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری برای تصویب قوانین و معاهدات بین‌المللی در زمینه پسماندهای فضایی در سطح سازمان ملل و کمیته کوپوس صورت پذیرفته است ولیکن در عمل هیچ معاهدهٔ سختی تاکنون حاصل نشده است و این بحث هم‌چنان یکی از موضوعات باز سازمان‌های بین‌المللی است. در مقابل توصیه‌نامه‌ها و قوانین نرم برای کاهش پسماندهای فضایی تصویب شده است. کمیته استفاده صلح‌آمیز از فضای بیرونی سازمان ملل با استفاده از انواع اقدامات نظارتی ملی در زمینه ایجاد استانداردهای کاهش پسماندهای فضایی، دستورالعمل‌های داوطلبانه‌ای را در سال ۲۰۰۷ منتشر کرد. این دستورالعمل در نهایت مورد تأیید مجمع عمومی سازمان ملل در قطعنامه ۲۱۷/۶۲ دسامبر ۲۰۰۷ قرار گرفت. از سال ۲۰۰۸، کمیته در حال بحث بر روی این قوانین بین‌المللی بود. دستورالعمل صادر شده در سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۰ چندین بار بروزرسانی شده است. مهم‌ترین مفاد این دستورالعملِ غیرالزام‌آور به شرح زیر می‌باشد[19]:

- محدود کردن بقایای منتشر شده در حین عملیات [فضاپیما / مراحل مداری]
- به حداقل رساندن احتمالِ شکست در مراحل عملیاتی
- کاهش احتمال تصادف در مدار

- جلوگیری از تخریب عمدی و سایر فعالیت‌های مضر
- به حداقل رساندن پتانسیل انفجار پس از مأموریت ناشی از انرژی ذخیره شده
- محدود کردن حضور طولانی مدت فضاپیما و وسایل نقلیه در منطقه مدار لئو پس از پایان مأموریت

در سوی دیگر کشورها و شرکت‌های بین‌المللی دستورالعمل‌هایی را برای جبران‌سازی و کاهش پسماندهای فضایی منتشر کرده‌اند. هر شرکت یا نهادی که بخواهد در کشور ثالث سرویس دهد، باید این مجموعه قوانین یا دستورالعمل‌ها را با دقت رعایت کند. به نظر می‌رسد، در حال حاضر مهم‌ترین قوانین تعهدآور در جهت کاهش پسماندهای فضایی همین قوانین محلی می‌باشد. در ادامه به بررسی برخی از این قوانین می‌پردازیم.

۳-۶-۳. قانون پسماندهای فضایی در آمریکا

همانطور که گفته شد، در نتیجه ضعف نهادهای بین‌المللی در تصویب قوانین الزام‌آور در زمینه پسماندهای فضایی، نظام‌های حقوقی محلی برای تصویب این قوانین به وجود آمده است. یکی از کشورهای پیشرو در این زمینه کشور ایالات متحده آمریکا می‌باشد. ایالات متحده در سال ۲۰۰۱، مجموعه‌ای از اقدامات استاندارد برای ناسا و ارتش و نیروی هوایی را برای کاهش پسماند مداری صادر کرد. این استاندارد سه بخش اساسی دارد [20]:

۱) ورود مجدد ماهوارهٔ از کار افتاده به اتمسفر حتی با "پیش‌بینی‌های محافظه‌کارانه، نهایتا ۲۵ سال پس از اتمام مأموریت باید رخ دهد."

۲) در مواردی ماهواره باید به یکی از چهار محدوده بسیار وسیع تعیین شده به عنوان مدار پارکینگ، ارتفاع‌های ۲۰۰۰—۱۹,۷۰۰ کیلومتر، ۲۰۷۰۰—۳۵،۳۰۰ کیلومتر، بالاتر از ۳۶,۱۰۰ کیلومتر منتقل شده و یا به طور کامل از مدار زمین خارج شده و در مدارهای مارپیچی[1] به سمت بیرون قرار گیرد.

۳) بازیابی: پس از اتمام مأموریت، ماهواره باید بازیابی و از مدار خارج شود.

---

1 Heliocentric

این استاندارد باتوجه به بند اول خود که بیشتر مختص ماهواره‌های لئو است، به قانون ۲۵ ساله یا روش‌های استاندارد کاهش پسماندهای مداری[1] مشهور شده است. از سال ۲۰۰۱ تاکنون این قانون چندین بار بازبینی شده است. نسخه‌های سال‌های اخیر با تاکید بر مسائل روز ابرمنظومه‌ها منتشر شده است. در رابطه با این قانون جامعه فضایی معتقد است که بازه زمانی بازگشت ماهواره به زمین باید کمتر از ۲۵ سال باشد. اما درباره بازه زمانی جدید، اتفاق نظر وجود ندارد.

در آخرین ویرایش این قانون در سال ۲۰۲۰ و با در نظر گرفتن چالش‌های مربوط به بحث ابرمنظومه‌ها، پنج بند زیر از طرف کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا در نظر گرفته شد و هر شرکت پرتاب‌کننده ماهواره یا اجسام به فضا با امضا و رعایت این بندها مجوز پرتاب و یا ارایه خدمات در آمریکا را خواهد داشت[20]:

۱- محاسبه دقیق و کمّی خطر احتمال برخورد

قانون جدید از معیارهای کمّی برای ارزیابی احتمال وقوع برخی حوادث در مورد یک فضاپیمای معین استفاده می‌کند، از جمله خطر برخورد، احتمال دفع موفقیت‌آمیز پس از مأموریت و خطر خسارت مرتبط با ماهواره‌هایی که دوباره وارد زمین می‌شوند. همچنین باید احتمال برخورد با اجسام بزرگ و کوچک، احتمال خرابی ماهواره و خطراتی را که برای هر جسم روی سطح ایجاد می‌شود، تخمین زده شود. هر اپراتور ماهواره‌ای تجاری متقاضی مجوز کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا، نیاز دارد تا ارزیابی دقیقِ جزئی از برخوردهایی را که می‌تواند به ماهواره آسیب برساند، ارایه دهد و احتمال هدایت موفقیت‌آمیز فضاپیما پس از اتمام مأموریت به مسیری که باعث می‌شود، با ورود به جو، بسوزد، ارزیابی کند.

۲- قدرت مانور مداری در ارتفاعات خاصی از مدار لئو

ماهواره‌های جدیدی که برای ارتفاع بیش از ۴۰۰ کیلومتر پرتاب می‌شوند، نیاز به سیستم پیشرانه یا سایر وسایل جلوگیری از برخورد دارند. هر فضاپیمایی که از بالای ایستگاه فضایی بین‌المللی عبور می‌کند باید قادر به نوعی مانور برای جلوگیری از برخورد باشد. لازم است همه ماهواره‌هایی که در مدار بالاتر از ایستگاه فضایی بین‌المللی، در حدود ۲۵۰ مایلی (۴۰۰

1 Orbital Debris Mitigation Standard Practices (ODMSP)

کیلومتری) بالاتر از زمین قرار دارند، به سیستم‌های قدرت مانور مجهز شوند تا از برخورد با یکدیگر یا ایستگاه فضایی در هنگام چرخش دور زمین، جلوگیری کنند.

۳-اوراق ضمانت (سفته) برای دفع پسماند پس از مأموریت

کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا اپراتورهای ماهواره‌ای را که به دنبال مجوز هستند، برای ارایه اوراق ضمانت عملکردی که در صورت عدم خارج کردن صحیح فضاپیمای از کار افتاده، می‌توانند از آن استفاده کنند، اجبار می‌کند. روال‌های کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا می‌تواند به معنای ده‌ها میلیون دلار هزینه اضافی برای اپراتورهای ماهواره ژئو و حداکثر ۱۰۰ میلیون دلار هزینه اضافی برای ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای در مدارهای پایین باشد. کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا با معرفی چنین اوراق ضمانتی می‌تواند ابزاری فراهم کند که اپراتورها ترغیب شوند، بدون نیاز به هزینه اضافی (عدم نقد شدن اوراق ضمانت توسط کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا) ماهواره را به خوبی از مدار خارج کنند. این اوراق می‌تواند برای اپراتور انگیزه اقتصادی برای سوزاندن ماهواره‌های از کارافتاده ایجاد نماید.

۴- جدول زمانی دفع پس از مأموریت کوتاه‌تر از بیست و پنج سال

کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا پیشنهاد می‌کند، ماهواره‌هایی که برای کار در مدارهای بالاتر از ۶۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شده‌اند، در ابتدا ماهواره‌های خود را در مدارهای زیر ۶۵۰ کیلومتر مستقر کنند و پس از بررسی عملکرد، آنها را به مدارهای عملیاتی خود منتقل کنند. این روش کمک می‌کند تا اگر پس از استقرار ماهواره‌ها به هر دلیلی غیرفعال شدند، به طوری که قادر به انجام هیچ مانوری نباشند، آنها ظرف ۲۵ سال دوباره وارد جو شوند و برای مدت طولانی‌تر در مدارهای بالاتر لئو باقی نمانند. ماهواره‌های دارای مدار بالاتر باید مجوز قابلیت اطمینان از ساخت و تولید داشته باشند به طوری که از هر ۱۰,۰۰۰ ماهواره یک ماهواره دچار خرابی شود. (قابلیت اطمینان ۹۹/۹۹۹)

۵-شرط جبران خسارت

قانون کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا شامل بندی است که شرکت‌ها را ملزم به جبران خسارت دولت ایالات متحده آمریکا در برابر هرگونه ادعای خسارت می‌کند. بر طبق معاهدات سخت کوپوس دولت‌ها در صورت ایجاد خسارت باید خسارت وارده را جبران کنند. ولیکن کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا نمی‌خواهد دولت ایالات متحده آمریکا موظف به

پرداخت خسارات وارده توسط یک اپراتور ماهواره‌ای خصوصی باشد، به عنوان مثال، کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا نمی‌خواهد دولت ایالات متحده آمریکا مسئول جبران خسارت در آسیب دیدن اموال یا افراد ثالث در روند انتقال یا جابه‌جایی یک سفینه فضایی یا ماهواره باشد. به همین دلیل، بندی در مجوز کمیسیون ارتباطات فدرال آمریکا برای جبران خسارت توسط اپراتورها و سرویس‌دهنده‌ها در نظر گرفته شده است.

۳-۶-۴. پسماندهای فضایی در سایر کشورها

از سال ۲۰۰۲، آژانس فضایی اروپا[1] با یک گروه بین‌المللی همکاری کرد تا مجموعه‌ای مشابه با قوانین آمریکا را ایجاد کند. در سال ۲۰۰۷، ISO شروع به تهیه استاندارد بین‌المللی برای کاهش پسماندهای فضایی کرد. در سال ۲۰۰۷ کشورهای اتحادیه اروپا نیز استانداردی را تحت عنوان" آیین‌نامه اروپایی برای کاهش پسماند فضایی[2]" امضا کردند که براساس استاندارد ایزو بود. تا سال ۲۰۱۰، ایزو یک مجموعه جامع از استانداردهای مهندسی سیستم فضایی را با هدف کاهش پسماندهایی فضایی منتشر کرد. این استاندارد تحت عنوان ISO 24113 شناخته می‌شود. باید دقت نمود که این استانداردها از نظر ایزو یا هر حوزه حقوقی بین‌المللی برای هیچ یک از طرفین الزام‌آور نیستند. ولیکن این استانداردها می‌توانند به طور داوطلبانه توسط یک سازنده یا اپراتور فضاپیما به تصویب برسند، یا از طریق قرارداد تجاری بین مشتری و تأمین‌کننده به اجرا درآیند، یا به عنوان پایه‌ای برای تنظیم مجموعه‌ای از مقررات ملی در مورد کاهش پسماند فضایی مورد استفاده قرار گیرند.

کشور هند نیز، از سال ۲۰۰۶ از طریق سازمان تحقیقات فضایی هند[3] برنامه کاهش پسماند فضایی را در نظر گرفته است. در سال‌های اخیر آلمان و فرانسه به تبعیت از قوانین آمریکا برای جلوگیری از افزایش پسماندها فضایی توسط اپراتورها درخواست اوراق ضمانت از آنها نموده‌اند. از سوی دیگر با رویکرد استفاده از فن‌آوری، نیز راهکارهای متعددی جهت کاهش پسماند فضایی ارایه شده است. برخی از این راهکارها بیشتر حالت تئوری دارند و برخی دیگر در عمل نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش پسماند

---

1 European Space Agency(ESA)
2 The European Code of Conduct for Space Debris Mitigation
3 Indian Space Research Organisation(ISRO)

فضایی استفاده از مدارهای بیضوی برای ماهواره‌های با مدار پرتاب پایین است. این مدار بیضوی در نقطه حضیض خود تقریبا داخل جو زمین خواهد بود و در نقطه اوج از زمین فاصله خواهد گرفت. در صورتی که ماهواره به هر دلیل از کار بیافتد یا نیاز به خارج کردن از مدار داشته باشد، در لحظه‌ای که در نقطه حضیض قرار دارد، ماهواره از مدار خارج و به سمت زمین باز می‌گردد.

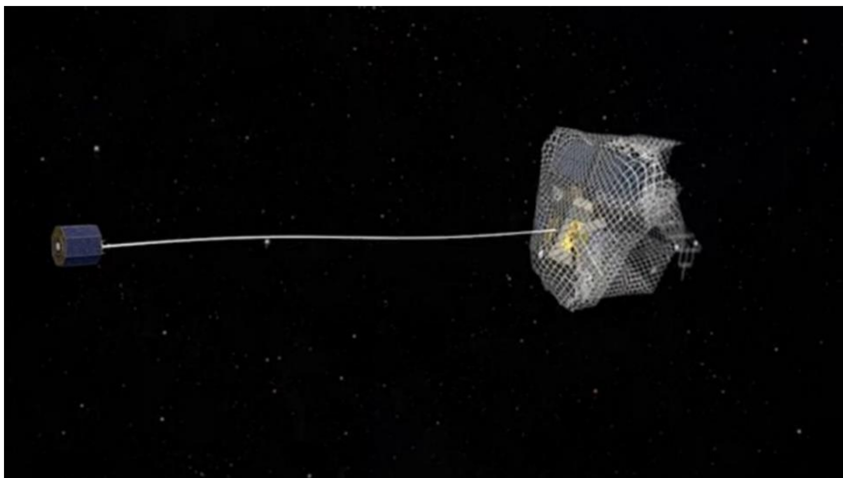
یکی دیگر از روش‌های کاهش پسماند فضایی عملیات غیرفعال‌سازی[1] است. عملیات غیرفعال‌سازی براساس یک توصیه‌نامه از ITU است که بعد از اتمام عمر ماهواره به مدار پسماندهای فضایی بروند (بطور مثال در حدود ۳۵۰ کیلومتر بالاتر از کمربند ژئو) و در آنجا تمام سوخت‌ها و انرژی ماهواره تخلیه شود تا انفجار رخ ندهد. در مجوزهای ملی برخی از الزامات قابل اجرا برای غیرفعال‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

روش دیگر برای خارج کردن از مدار مجهز بودن ماهواره به مکانیزم تغییر مدار است. ماهواره فرانسوی Spot-1 با کاهش ارتفاع از ۸۳۰ کیلومتر (۵۱۶ مایل) به حدود ۵۵۰ کیلومتر (۳۴۲ مایل) زمان ورود مجدد ماهواره به جو زمین از ۲۰۰ سال پیش‌بینی شده به حدود ۱۵ سال کاهش داد.

روش دیگر برای کاهش پسماندها استفاده از یک وسیله بیرونی برای خارج کردن ماهواره از مدار است که خود آن به شیوه‌های مختلف صورت می‌پذیرد. این روش‌ها بسیار هزینه بر است. اما از مزایای مهم آن این است که اگر ماهواره به طور کامل از کار بیفتد و امکان کنترل آن فراهم نباشد، می‌توان با این رابط بیرونی آن را از مدار خارج و به جو زمین برگرداند. منظومه وان‌وب چنین قابلیتی را بر روی ماهواره‌های خود در نظر گرفته‌اند. استفاده از لیزر و تور؛ دو روش تئوری دیگر برای کاهش پسماندهای فضایی هستند که در شکل ۳-۱۴- نشان داده شده‌اند که ممکن است در سال‌های آتی عملیاتی شوند.

---

1 Assivization



شکل ۳-۱۴- استفاده از تور برای به دام انداختن ماهواره از کار افتاده[21]

مسئله پسماندهای فضایی یک چالش بسیار گسترده و مهم در زمینه ماهواره‌ها در سال‌های آتی خواهد بود. این مسئله با حضور ابرمنظومه‌ها بسیار جدی‌تر خواهد شد و شاید حتی بحث سندروم کسلر نیز با ابرمنظومه‌ها بسیار قریب به وقوع باشد. آنچه در این بخش مورد بررسی قرار گرفت، مطالب اصلی در حوزه قانون‌گذاری و چالش‌های پسماندهای فضایی است و مقالات و کتاب‌های فراوانی در این زمینه نگارش شده است که خوانندگان محترم می‌توانند به آن‌ها مراجعه نمایند [22] و [23].

۳-۷. جمع‌بندی

با ظهور بازیگران خصوصی و اعلام راه‌اندازی ابرمنظومه‌ها در مدار لئو به نظر می‌رسد که تقاضا برای منابع مداری لئو به شدت بالا خواهد رفت. بنابراین، تخصیص فرکانس باید بدون هیچ تبعیضی صورت بگیرد تا از تسلط به منابع مداری لئو توسط برخی از بازیگران اصلی فضایی جلوگیری شود. هرچند در ظاهر برخی کشورهای فعال در زمینه فضایی مانند ایالات متحده، در حال حاضر قصد تامین سرویس اینترنت برای بخش‌های بدون زیرساخت زمینی را دارند، با این وجود این فرآیند نباید منجر به خارج از دسترس شدن منابع مدارهای لئو برای کشورهای در حال توسعه و بازیگران جدید در این حوزه شود.

تهدیدهای دیگری در خصوص ابرمنظومه‌ها به طور پراکنده مطرح می‌شود که نشان‌دهنده ناشناخته بودن تاثیر آنها و چگونگی برخورد با آنها می‌باشد. شاید بتوان برخی موارد را که در همان گام اول قابل بیان هست را بدین صورت عنوان کرد:

۱- افزایش پسماندهای فضایی تهدیدی برای ماهواره‌های در حال فعالیت در مدار و همچنین پرتاب‌های آتی کشورها خواهد بود.

۲- افزایش پسماندها منجر به اتخاذ الزامات سخت‌گیرانه‌تر برای ماهواره‌هایی که در آینده باید مجوز پرتاب بگیرند، خواهد شد. از آن‌جمله داشتن شرط داشتن قابلیت مانور مداری که موجب گران شدن ماهواره خواهد شد.

۳- محدودیت منابع فرکانسی باعث افزایش تداخلات فرکانسی و مشکلات برای خدمات محلی خواهد شد.

۴- فعالیت‌های نجوم آماتوری تحت الشعاع قرار می‌گیرد.

۵- امکان ارایه خدمات بدون مجوز، در کشورها ابعاد اقتصادی و امنیتی خواهد داشت.

۶- احتمال تاثیرات آب و هوایی که هنوز ناشناخته است.

در شکل ۳-۱۵- وضعیت موجود رویکردهای حقوقی در رابطه با ابرمنظومه‌ها، چالش‌های پیش‌رو و راهکارهای پیشنهادی بر برون رفت از این چالش‌ها آورده شده است.



شکل ۳-۱۵- ابرمنظومه‌ها و برخی رویکردهای حقوقی مواجهه با آن

در همین راستا بسیاری از کشورها در زمینه چالش‌های ابرمنظومه‌ها در حال بررسی هستند و برخی کشورها درخصوص مواجهه با این موضوع راهکارهایی را نیز ارایه می‌دهند. بنابراین، پیشنهادهایی در این راستا به شرح ذیل ارایه می‌گردد:

طرح موضوع در مجامع بین‌المللی نظیر:

- زیرکمیته‌های کوپوس شامل زیرکمیته حقوقی و زیرکمیته فنی
- کارگروه‌های موضوعی و کنفرانس‌های پیرامونی WRC-23 (نظیر نشست‌های مقدماتی کنفرانس[1])
- لزوم ایجاد همگرایی با کشورهای در حال توسعه برای تضمین حق دسترسی عادلانه به منابع فضایی
- لزوم پیگیری برای تصویب قوانین محدودکننده برای ابرمنظومه‌ها در مجامع بین‌المللی

1 Conference Preparatory Meeting(CPM)

- پرورش حقوقدان‌های خبره در خصوص حقوق فضا به منظور دفاع از منافع کشور در مجامع جهانی
- به رسمیت شناختن این فن‌آوری و برنامه‌ریزی برای مواجهه با آن در سطح داخلی

پیشنهاد می‌شود که هماهنگی حقوقی و تدوین راه‌حل‌های عملی، حتی تدوین یک نظام جداگانه، از طریق تجزیه و تحلیل ارتباط بین قوانین ارایه شده توسط اتحادیه بین‌المللی مخابرات (ITU) و معاهدات سازمان ملل به ویژه معاهده فضای ماورای جو، در زمینه منظومه‌های ماهواره‌ای پیشنهادی به طور جدی مد نظر قرار گیرد.

مراجع

[۱] "حقوق بین‌المللی فضایی" تالیف دکتر سید هادی محمودی، نشر سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها، پاییز ۱۳۹۷

[۲]"حقوق بین‌الملل و بهره‌برداری نظامی از فضای ماورای جو،" تالیف دکتر فریبا رضی‌پور، انتشارات خرسندی، ۱۳۹۷

[3] "United nation office for outer space affairs," URL: http://www.unoosa.org/"
[4] Committee on the Peaceful Uses of Outer Space," UNOOSA, URL: http://www.unoosa.org/ oosa/COPUOS/copuos.html

[5] "Radio Regulations Edition of 2016,"ITU, 2016, Avilable at: http://www. itu. int/pub/R-REG-RR-2012

[6] Omar KA "Overview of Coordination and Notification Procedures (Non Planned Space Services)," ITU, 2017, URL: https://www.itu.int/en/ITU R/seminars/rrs/2017-Africa/Documents/Plenary/10_%20Nonplanned%20Satellite%20Services%20(Coodination%20and%20Notification%20Procedures) .pdf

[7] Timur Kadyrov, "Non GSO Sattelite issues," Workshop on the Efficient Use of the Orbit/Spectrum Resource, Bangkok 2017, URL: https://docplayer.net/63040154-Non-gso-satellite-issues.html

[8] "Final Acts of WRC 19,"ITU, 2019, URL: https://www.itu.int/pub/R-ACT-WRC.14-2019

[9] https://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/broadcast/Pages/MIFR.aspx

[10] Froehlich, Annette "Legal Aspects Around Satellite Constellations" Springer, March 2019.

[11] Caleb Henry, "Oneweb says regulatory concerns main reason it's forgoing intersatellite links," Spacenews, 2 July 2018, URL:https://spacenews.com/oneweb-says-regulatory-concerns-main-reason-its-forgoing-inter-satellite-links/

[12] Dave Mosher, "Elon Musk's plane to blanket Earth in hig-speed internet may face a big threat: china." Insider, 22 November 2016, URL: https://www.businessinsider.com/spacex-internet-satellite-constellation-china-threat-2016-11

[۱۳] "جنگ جهانی سوم به خاطر زباله‌های فضایی راه می‌افتد؟/ پیش‌بینی دانشمند فضایی روسیه" خبرگزاری انتخاب، ۵ بهمن ۱۳۹۴

[14] "Space debris," Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Space_debris#/media/ File:Debris-GEO1280.jpg

[15] "Space debris by the numbers" The European space Agency, 5 March 2019, URL: https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers

[16] Donald J. Kessler.; Burton G Cour-Palais "Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt". Journal of Geophysical Research, 1978, pp. 2637–2646.

[17] T.J. Muelhaupt, M. E. Sorge J. Morin, and R.S. Wilson, "Space traffic management in the new space era," Journal of Space Safety Engineering, 2019, pp.80-87.

[18] J. Gallagher, J. A. Haimerl, T. Higgins, and M. Gruber, "Space Fence Radar Leverages Power of GaN," Design Solutions, September 2018.

[19] "Space debris mitigation guidelines of the committee on the peaceful use of outer space," UNOOSA, 2010, URL: https://www.unoosa.org/pdf/publications/st_space_49E.pdf

[20] "Mitigation of orbital debris in the new space age," FCC, 2 April 2020, URL: https://docs.fcc.gov/ public/attachments/DOC-363486A1.pdf

[21] "Want to sang a satellite? Try a net," ESA, March 2015, URL: https://www.esa.int/Safety_Security/Clean_Space/Want_to_snag_a_satellite_Try_a_net

[22] Tian, Z., "United states law and policy on space debris,"In Space security and legal aspects of active debris removal, (pp. 155-167) Springer, 2019.

[23] Joseph N.Pelton, and W. H. Ailor,"Space debris and other threats from outer space," Springer, 2013

فصل چهارم: تحلیل سوات فن‌آوری ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای

۴-۱. مقدمه

چنانکه در فصل اول عنوان شد، موضوع استفاده از منظومهٔ ماهواره‌ها برای ارایه یک خدمت مشخص با ظهور ماهواره‌ها از همان ابتدا مطرح شد و منظومه‌های موفقی نظیر منظومه‌های موقعیت‌یاب طراحی و بهره‌برداری شد. از سال ۲۰۱۵ با کاهش قابل توجه هزینه‌های پرتاب ماهواره و کوچک‌سازی ماهواره‌ها، بحث منظومه‌های ماهواره‌ای مجدد برای ارایه سرویس پهن‌باند و سرویس اینترنت مورد توجه قرار گرفت و شرکت‌های خصوصی نظیر اسپیس‌ایکس و وان‌وب به عنوان پیشرو، برای ارایه این سرویس برای پرتاب بیش از ۱۰۰۰ ماهواره برنامه‌ریزی نمودند. ابرمنظومه‌ها در حقیقت یکی از مهم‌ترین تحولات رخ داده در عرصه فن‌آوری ماهواره‌هاست که قابلیت‌های فراوانی نظیر کاهش تاخیر، ارتباطات پرسرعت فراگیر و دسترسی به ارتباطات پهن‌باند در نقاط کم برخوردار را ایجاد خواهد نمود.

اینترنت ماهواره‌ای[1] و ابرمنظومه‌ها علاوه بر مزایای فوق دارای معایب متعددی نیز هستند. که از جمله آن‌ها می‌توان به کاهش نظارت بر شبکه‌های ملی اینترنت، ضعف‌های امنیتی فراوان، افزایش تداخلات و کاهش دید از آسمان اشاره نمود. ساختار ابرمنظومه‌ها همچنین فرصت‌هایی نظیر امکان ایجاد توسعه بازارهای جدید، افزایش پوشش‌دهی و اشتغال در نقاط دورافتاده و تهدیدهایی نظیر از دسترس خارج شدن و یا کاهش منابع مداری ارتفاع پایین لئو را در خود دارند. بر این اساس یکی از جامع‌ترین تحلیل‌ها، تحلیل سوات یا ماتریس SWOT[2] است که برای تحلیل نقاط قوت، ضعف، تهدید و فرصت حاصل از توسعه ابرمنظومه‌ها از این تحلیل استفاده خواهد شد. تجزیه و تحلیل سوات برای تسهیل نگاه واقع‌بینانه، مبتنی بر واقعیت، داده محور به نقاط قوت و ضعف موضوع ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای، نگاه بسیار جامعی به این پدیده ارایه خواهد نمود. حاکمیت‌ها باید با اجتناب از اعتقادات از پیش تصور شده، تجزیه و تحلیل را دقیق انجام دهند و بر زمینه‌های واقعی این پدیده متمرکز شود. دولت‌ها باید از این تحلیل به عنوان راهنما و نه لزوماً به عنوان یک نسخه توصیه‌ای استفاده کنند. در این گزارش به بررسی کامل تحلیل سوات این پدیده پرداخته می‌شود.

۴-۲. تحلیل سوات اینترنت ماهواره‌ای از طریق ابرمنظومه

تجزیه و تحلیل سوات یک تکنیک برای ارزیابی عملکرد، رقابت، ریسک و پتانسیل است. با استفاده از داده‌های داخلی و خارجی، این مدل تجزیه و تحلیل می‌تواند به توسعه برنامه‌های استراتژیک نظیر شبکه ملی اطلاعات در حاکمیت و نهادهای تصمیم‌گیر کمک کند.

چنانکه می‌دانیم تجزیه و تحلیل سوات به صورت یک چهار ضلعی ارایه می‌شود. این چیدمان بصری یک مرور کلی از موقعیت هر فناوری را از جمله ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای را ارایه می‌دهد. اگرچه ممکن است همه نکات تحت عنوان خاصی از اهمیت یکسانی برخوردار نباشد، اما همه آنها باید بینش‌های کلیدی در مورد توازن فرصت‌ها و تهدیدها، مزایا و معایب و موارد دیگر را نشان دهند. این چهار ضلعی شامل نقاط قوت، نقاط ضعف؛ فرصت‌ها و تهدیدها است.

1 Satellite Internet
2 Strengths, Weakness, Opportunities, Threats(SWOT)

جدول ۴-۱- خلاصه تحلیل سوات ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای

قوت	ضعف
کاهش قابل توجه هزینه‌های پوشش‌دهی نقاط دورافتاده	افزایش تداخلات فرکانسی و نیاز به مدیریت آن‌ها
ارایه خدمات در شرایط بحران	ضعف امنیتی اینترنت ماهواره در حوزه سایبری
افزایش دسترسی به شبکه و پوشش کاربران متحرک	امکان انجام حملات ناشناس به ماهواره در فضا
افزایش سرعت انتقال داده در کشور	شنود راحت‌تر داده‌های ارسالی در اینترنت ماهواره‌ای
کاهش قابل توجه تاخیر به خصوص برای ارتباطات راه دور	امکان رهگیری غیرقانونی از محل کاربر
افزایش قابل توجه قابلیت اطمینان در شبکه	امکان کنترل مخرب ماهواره از زمین
بهبود ارایه خدمات مرتبط با فناوری اینترنت اشیا	
بهبود بکهال در شبکه ارتباطات سیار	
افزایش ضریب نفوذ ICT و کاهش شکاف دیجیتال	
افزایش عدالت در دسترسی به خدمات شبکه ملی اطلاعات	
فرصت	**تهدید**
فرصت بهبود همگرایی در شبکه‌های مخابراتی	تهدید امنیت ملی و نظامی با حضور ابرمنظومه در مدارهای بسیار پایین
امکان ایجاد و توسعه، سرویس‌ها و بازارهای جدید	کاهش نظارت حاکمیت بر اینترنت و افزایش فعالیت های مخرب
افزایش اشتغال در نقاط دورافتاده	تسلط اپراتور خارجی بر زیرساخت ارتباطات ماهواره‌ای
پیاده‌سازی بهتر نسل‌های مخابرات سلولی با قابلیت بکهالینگ	خروج ارز از کشور
افزایش سرمایه‌گذاری خارجی و کنسرسیومی بر روی اینترنت ماهواره‌ای	عدم همکاری اپراتور خارجی در مواقع بحران با حاکمیت
کسب درآمد ملی و منطقه‌ای از سرویس‌های اینترنت ماهواره‌ای	تسلط اپراتورهای خارجی بر مدیریت ترافیک فضایی و پرتاب ماهواره‌ها
امکان توسعه صنایع پایین دستی برای تکمیل زنجیره ارزش مانند تولید برخی تجهیزات در داخل کشور	کاهش دسترسی به مدارهای لئو و تهدید جدی منابع مشترک مداری
	کاهش دید از آسمان و تاثیر مستقیم بر نجوم
	افزایش پسماندهای فضایی و مشکلات ناشی از آن
	دانش ناکافی نهادهای نظارتی به نحوه کنترل و نظارت بر اینترنت ماهواره‌ای

۱- نقاط قوت

نقاط قوت توصیف می‌کنند که برتری‌های فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای چیست و چه چیزی آن را از رقبا جدا می‌کند. به عنوان مثال، کاهش تاخیر و افزایش نفوذپذیری اینترنت از نقاط قوت این فن‌آوری است.

۲- نقاط ضعف

نقاط ضعف عملکرد اینترنت ماهواره‌ای را در سطح مطلوب خود متوقف می‌کند و برای حفظ فن‌آوری لازم است، تهدیدها برطرف شود: به عنوان مثال ضعف‌های امنیتی اینترنت ماهواره‌ای از جمله نقاط ضعف هستند.

۳- فرصت‌ها

فرصت‌ها به عوامل خارجی مطلوب اشاره می‌کنند که می‌توانند یک مزیت رقابتی به فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای بدهند. به عنوان مثال، ارایه بهتر سرویس اینترنت اشیا، امکان ایجاد و توسعه بازارهای جدید از جمله فرصت‌های فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای است.

۴- تهدیدها

تهدیدها به عوامل خارجی اشاره دارد که احتمال دارد، بتوانند توسط فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای آسیب ببینند. به عنوان مثال، ضعف‌های امنیتی و احتمال شنود ابرمنظومه‌ها از جمله تهدیدهای این فن‌آوری می‌باشد.

در جدول ۴-۱- خلاصه‌ای از تحلیل سوات ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای مشاهده می‌شود. در ادامه و به صورت موردی هریک از این مزایا و معایب مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۳. نقاط قوت ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای

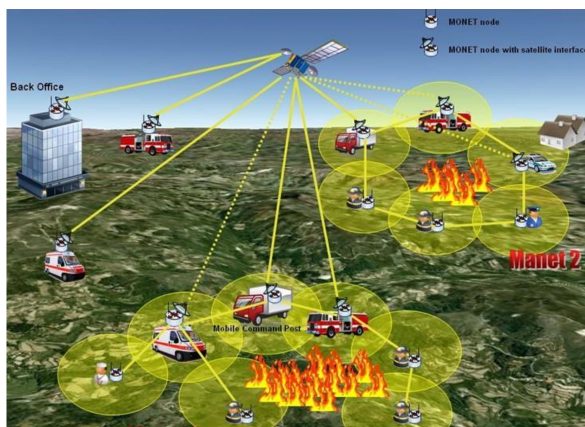
۴-۳-۱. کاهش هزینه پوشش‌دهی نقاط دورافتاده

یکی از اصلی‌ترین مزایای اینترنت ماهواره‌ای کاهش هزینه پوشش‌دهی در نقاط دورافتاده است. در واقع ماهواره‌ها نه به عنوان رقیب شبکه زمینی بلکه به عنوان مکمل این شبکه‌ها

عمل می‌نمایند. در حالت عادی استفاده از شبکه زمینی و فیبر برای پوشش اینترنت ارزان‌تر از شبکه‌های ماهواره‌ای خواهد بود. با این وجود در بسیاری از نقاط دورافتاده و صعب‌العبور، ارایه شبکه زمینی بسیار گران قیمت و غیرعملی می‌باشد. این نقاط نیازمند تأمین بکهال و زیرساخت با هزینه‌های بسیار بالا می‌باشند. در این شرایط ماهواره بهترین انتخاب برای دسترسی به خدمات پهن‌باند خواهند بود. بر اساس گزارش میسون، سهم پهن‌باند ماهواره‌ای از کل ارتباطات پهن‌باند در سال‌های آتی بین ۶ درصد تا حداکثر ۲۰ درصد خواهد بود[1]. در مجموع کاهش هزینه‌های پوشش‌دهی نقاط دورافتاده اولین و مهم‌ترین نقطه قوت و در بسیاری از مواقع هدف اصلی ارایه اینترنت ماهواره‌ای می‌باشد.

۴-۳-۲. ارایه خدمات در شرایط بحران

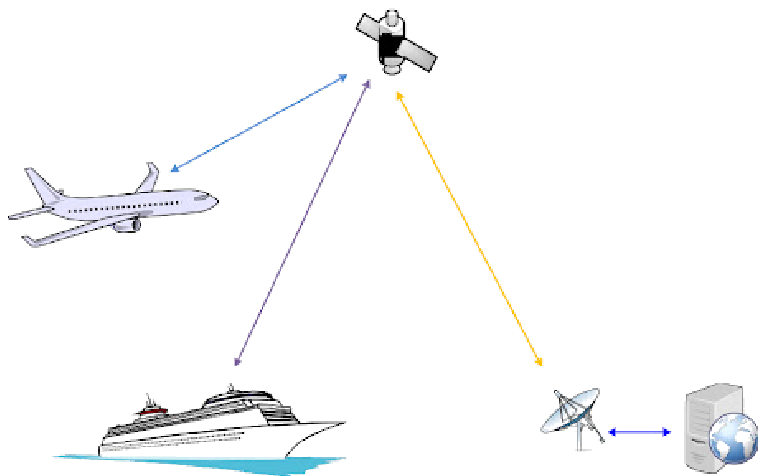
یکی دیگر از مزایای مهم ارتباطات ماهواره‌ای امکان ارایه خدمات در شرایط بحران است. در شرایط بحران نظیر زلزله، سیل یا جنگ در بسیاری از مواقع تمامی زیرساخت یا بخش قابل توجهی از زیرساخت زمینی از بین خواهد رفت. در چنین شرایطی برای امدادرسانی و ایجاد ارتباط در نقاط بحرانی تنها راه ممکن استفاده از خدمات ماهواره‌ای است. اینترنت ماهواره‌ای در منطقه بحران زده بدون آسیب‌پذیری می‌تواند یک راه مطمئن برای برقراری ارتباطات برای اول پاسخگوها (نظیر پلیس، اورژانس و آتش‌نشانی) باشد. در حقیقت به نظر می‌رسد، اینترنت ماهواره‌ای تنها راه‌حل سریع در این شرایط خواهد بود. شکل ۴-۱- شمایی از ارایه خدمات در شرایط بحران و نبود زیر ساخت منطقهای را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- ارایه خدمات در شرایط بحران و نبود زیرساخت منطقه‌ای [2]

۴-۳-۳. افزایش در دسترس بودن شبکه و پوشش کاربران متحرک

یکی دیگر از مزایای توسعه اینترنت ماهواره‌ای، افزایش دسترسی[1] شبکه خواهد بود. باتوجه به اینکه در سال‌های آتی اکثر فن‌آوری‌های ارتباطاتی همگرا خواهند شد، افزایش دسترسی شبکه اهمیت دو چندانی پیدا خواهد کرد، علاوه بر کاربران نقاط دورافتاده و کاربران مناطق بحران، کاربران متحرک نیز تنها راه افزایش دسترسی‌شان، فن‌آوری‌های مرتبط با ماهواره خواهد بود. در این حالت اتصال بکهال سرعت بالا برای پوشش ترمینال‌های متحرک در هواپیماها، وسایل نقلیه، قطارها و کشتی‌ها در یک منطقه وسیع با کمک ابرمنظومه‌ها صورت خواهد پذیرفت. یک لینک ماهواره‌ای بین ماهواره‌های ژئو یا غیرژئو با سرعت بسیار بالا (تا سرعت گیگابیت بر ثانیه) و هواپیماها، وسایل نقلیه، قطارها و کشتی‌ها، ارتباطات زمینی موجود را در هر جا که ممکن باشد، تکمیل خواهد کرد. در این حالت، لینک‌های کاربری ماهواره می‌توانند بصورت دو طرفه و یا یک طرفه بسته به نوع مورد باشند. زیرا هم ارتباط پهن‌باند و هم ارتباط پخش همگانی در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند. این موضوع در شکل ۴-۲- نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- افزایش دسترسی به شبکه برای کاربران متحرک [3]

1 Availability

۴-۳-۴. افزایش سرعت انتقال داده

چنانکه در فصل اول نیز عنوان شد، ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای به دنبال ایجاد خدمات با پهنای باند بسیار بالا با قیمت ارزان هستند. پیش از این اینترنت ماهواره‌ای عموما با سرعت‌های بسیار پایین در حد حداکثر چند مگابیت و گاها با تاخیر زیاد ارایه می‌شد. با این وجود ابرمنظومه وان‌وب پهنای‌باندی در حدود 500 Mbps در اختیار هر کاربر قرار خواهد داد. این پهنای باند بالا به علت امکان مالتی‌پلکس پرتوها[1] بین ماهواره‌ها فراهم می‌شود. در حقیقت با زاویه ورود مختلف (مالتی‌پلکس پرتوها)، کاربرانِ یک ناحیه از چندین ماهواره که هر کدام چندین کانال فرکانسی و چندین ترانسپوندر دارند، به طور همزمان سرویس خواهند گرفت. اسپیس‌ایکس هم چنانکه در فصل اول و دوم بحث شد، در طرح نهایی سرعتی در حدود 1Gbps خواهد داشت. کاربران این منظومه در نسخه‌های بتا در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ به راحتی سرعت 100Mbps را تجربه کرده‌اند. در مجموع می‌توان گفت، این فن‌آوری منجر به افزایش میانگین سرعت انتقال داده خواهد شد. در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته، این پهنای باند نسبت به سامانه‌های زمینی چندان قابل توجه نیست. به طور مثال کره جنوبی تا سال ۲۰۲۲ در طرح FTTP[2] پهنای باندی در حدود 10Gbps را در دسترس ۵۰٪ کاربران خانگی قرار خواهد داد [1].

با این وجود، دسترسی پهن‌باند با سرعت مناسب در نقاط دورافتاده، حتی در کشورهای بسیار توسعه‌یافته نیز به سختی ممکن است. به عنوان مثال یک مطالعه انجام شده در دسامبر ۲۰۲۰ نشان می‌دهد، نسخه بتای اسپیس‌ایکس که سرعت متوسط 80Mbps را در سراسر آمریکا فراهم کرده است، از سرعت متوسط اینترنت زمینی در بسیاری از نقاط آمریکا بالاتر است[4].

۴-۳-۵. کاهش تاخیر

این نقطه قوت نیز به تفصیل در فصل اول و در بخش ۱-۴-۳. بحث شد. برخی از ابرمنظومه‌های پیشنهادی نظیر منظومهٔ شرکت اسپیس‌ایکس برای تکمیل ارتباط خود در

1 Beam multiplexing
2 Fiber to the premises

فضا، دارای یک لینک اپتیکی بین ماهواره‌ای هستند. این لینک اپتیکی مزیت بسیار مهم برای منظومه ایجاد می‌نماید و آن کاهش تاخیر در مسیرهای طولانی نسبت به لینک‌های زمینی است. در منظومه اسپیس‌ایکس، هر ماهواره دارای ۵ لینک اپتیکی است. این لینک‌ها در محیط خلاء بسته می‌شوند که نسبت به محیط شیشه (فیبر نوری بر روی زمین) دارای سرعت انتشار نور بالاتری هستند، لذا تاخیر مسیر در منظومه اسپیس‌ایکس نسبت به سیستم زمینی در مسیرهای طولانی تا ۷۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

۴-۳-۶. افزایش قابلیت اطمینان شبکه

در سال‌های اخیر قابلیت اطمینان در شبکه‌های مخابراتی به یک پارامتر مهم و اثرگذار تبدیل شده است. بسیاری از نیازمندی‌های سال‌های آتی نظیر جراحی از راه دور و یا اتومبیل‌های خودران نیازمند یک شبکه ارتباطی با قابلیت اطمینان بالا هستند که تقریبا از عدم قطعی و سرعت آن اطمینان کافی داشته باشیم. این مسئله تا جایی پیشرفته است که در سناریوهای پیاده‌سازی 5G، سناریو uRLLC[1] به معنای شبکه با قابلیت اطمینان بسیار بالا و تاخیر بسیار کم را در نظر گرفته‌اند. فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای با نقش مکملی که برای شبکه‌های زمینی دارد، بدون تردید موجب افزایش قابلیت اطمینان شبکه می‌شود. با فن‌آوری‌هایی نظیر دست به دست شدن بین شبکه‌ای[2] اگر به هر دلیل شبکه زمینی دچار قطعی شود، با سوئیچ شبکه بر روی ماهواره، ادامه سرویس‌دهی میسر می‌گردد.

۴-۳-۷. بهبود خدمات اینترنت اشیا

اینترنت اشیا یکی از مهم‌ترین فن‌آوری‌های آینده در حوزه مخابرات خواهد بود. واقعیت این است که شبکه‌های اینترنت اشیا و ماهواره‌ها از جهاتی تطبیق بسیار مناسبی با یکدیگر دارند. در سال‌های اخیر شرکت‌های بسیاری در زمینه بهبود خدمات اینترنت اشیا با ماهواره قدم برداشته‌اند. به عنوان مثال موسسه فرانهوفر[3] (تولیدکننده مدارهای مجتمع) اخیراً اعلام کرد که فن‌آوری اینترنت اشیا زمینی آن شرکت، می‌تواند به راحتی توسط ماهواره‌ها مورد استفاده قرار گیرد. استارت‌آپ Swarm در برنامه خود برای ساخت یک منظومه مخصوص

1 Ultra Reliable low latency communication
2 Seamless handover
3 Fraunhofer

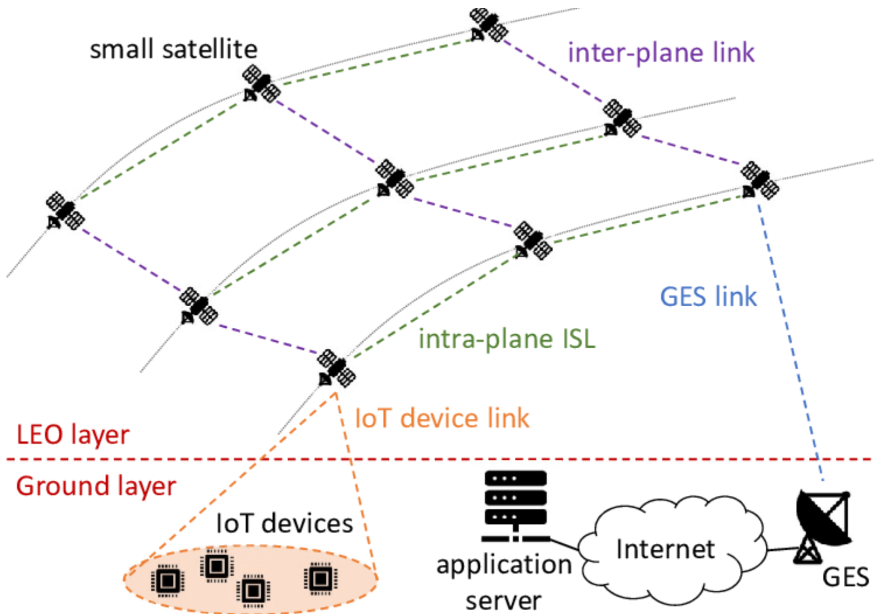
اینترنت اشیا به اندازه کافی موفق بوده که توسط اسپیس‌ایکس خریداری شده است. نکته مهمی که در زمینه خدمات اینترنت اشیا و ماهواره باید در نظر گرفته شود، این است که این خدمات در زمانی که Wi- Fi زمینی در دسترس است، چندان کارکرد ندارد.

با این حال سناریوهایی وجود دارند که ماهواره سرویس‌دهی اینترنت اشیا را بهبود می‌بخشد:

۱- زمانی که هیچ شبکه زمینی وجود ندارد. به عنوان مثال، در سیستم حمل و نقل، مراقبت از حمل و نقل کانتینرها، در شبکه‌های کشاورزی، در اینترنت اشیا در زمینه نظارت بر سلامت محیط زیست و بسیاری از موارد مشابه دیگر.

۲- در مواردی که پوشش زمینی وجود دارد، اما باید از شبکه‌های متعدد بین نقاط A و B عبور کند. برای مثال یک کانتینر که بین چندین کشور اروپایی در حال سفر است، احتمالا برای کاهش فرآیند دست به دست شدن بین شبکه‌های مختلف زمینی از کشورهای متعدد از فن‌آوری ماهواره‌ای با پوشش گسترده استفاده می‌نماید.

فن‌آوری‌های اینترنت اشیا دارای چند ویژگی مشترک هستند. آنها با مصرف توان کم و طول عمر زیاد هستند و معمولاً در برابر تداخل بسیار قوی هستند، زیرا اگر صدها یا حتی هزاران دستگاه ارسال‌کننده وجود داشته باشد، پیام‌ها نباید از بین برود. از سوی دیگر دستگاه‌های اینترنت اشیا معمولاً از نرخ بالای داده استفاده نمی‌کنند. واقعیت این است که ماهواره‌های کوچک و مکعبی و ابرمنظومه آن‌ها نیز با نرخ داده نسبتا پایین در حال طراحی می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت تطبیق بسیار مناسبی بین سیستم اینترنت اشیا و ابرمنظومه‌ها وجود دارد [5]. شکل ۴-۳- پوشش فناوری اینترنت اشیا با فناوری ابر منظومه‌ها را نشان می‌دهد.

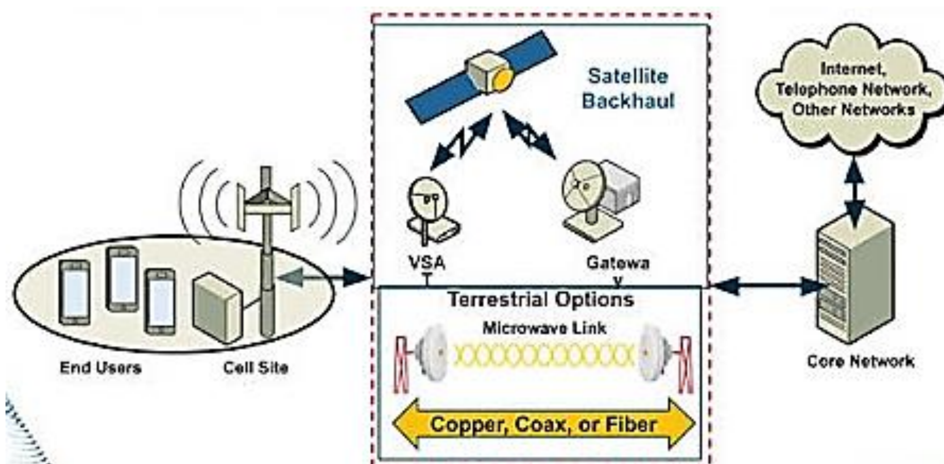


شکل ۴-۳. فن‌آوری ابرمنظومه‌ها و سرویس اینترنت اشیا [5]

۴-۳-۸. بهبود بکهال در شبکه ارتباطات سیار

در حال حاضر برای بکهال شبکه‌های ارتباطات سیار دو روش عمده وجود دارد: ۱- فیبر نوری ۲- لینک مستقیم مایکروویو. از میان این دو روش، فیبر نوری در شرایط عادی دارای هزینه کمتر و سرعت بالاتری می‌باشد و در اکثر مواقع انتخاب اول بکهال شبکه ارتباطات سیار است. در بسیاری از نقاط، لینک فیبر نوری وجود ندارد و یا کابل‌کشی آن هزینه‌بر و یا غیرعملیاتی است که در این حالت از لینک‌های مایکروویو استفاده می‌شود. به طور مثال دکل‌های نفتی در دریا، همواره از لینک‌های مایکروویوی برای ارتباطات خود استفاده می‌کنند. در محیط‌های شهری و غیرشهری نیز در بسیاری از مواقع لینک مایکروویو به عنوان بکهال شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید دقت نمود که لینک مایکروویو نیز دارای برد مشخصی است و اگر فاصله دو نقطه ارتباطی بسیار زیاد باشد، نیازمند تکرارکننده‌های مایکروویوی برای برقراری بکهال است.

با ظهور ابرمنظومه‌ها و امکان دسترسی به اینترنت پرسرعت، این فن‌آوری می‌تواند به عنوان بکهال پرسرعت در مخابرات سلولی با امکان پخش محتوای یکسان (به عنوان مثال ویدیو، تلویزیون HD / UHD علاوه بر سایر داده‌های غیرویدیویی) در یک منطقه پوشش وسیع در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، لینک‌های کاربری ماهواره می‌توانند بصورت دو طرفه و یا یک طرفه بسته به نوع کاربرد باشند. زیرا هم ارتباط پهن‌باند و هم ارتباطات پخش یک طرفه در این دسته‌بندی پشتیبانی می‌شوند. در مجموع با انتخاب جدیدی که ابرمنظومه‌ها برای شبکه ارتباطات سیار ایجاد می‌نمایند، می‌توان انتظار بهبود بکهال در این شبکه را داشت. شکل ۴-۴- انتخاب‌های مختلف برای بکهال شبکه سلولی را با حضور فناوری ابرمنظومه‌ها، نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴- انتخاب‌های مختلف برای بکهال شبکه سلولی با حضور ابرمنظومه‌ها[6]

۴-۳-۹. افزایش ضریب نفوذ ICT و کاهش شکاف دیجیتال

امروزه ضریب نفوذ ICT یکی از مهم‌ترین شاخص‌های توسعه‌یافتگی کشورها است. به عنوان نمونه بر طبق آخرین آمار در ارتباط با کشور ایران، تا پایان خردادماه ۹۹ بالغ بر ۷۸ میلیون و ۸۶ هزار و ۶۶۳ نفر در ایران از اینترنت استفاده می‌کنند و به بیان دیگر مشترک اینترنت هستند. از این تعداد ۶۸ میلیون و ۹۹۲ هزار و ۱۱۵ نفر مشترک اینترنت موبایل و ۹ میلیون

و ۹۴ هزار و ۵۴۸ نفر مشترک اینترنت ثابت هستند. بررسی این آمار حاکی از آن است که نسبت به پایان سال ۹۸، شمار مشترکان اینترنت موبایل تغییر محسوسی نیافته، اما تعداد مشترکان اینترنت ثابت خانگی افزایش کمی داشته است. آمار سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی از روند نفوذ اینترنت در کشور، گویای ضریب نفوذ ۹۴ درصدی اینترنت است. به بیان دیگر از هر ۱۰۰ نفر در کشور ۹۴ نفر از اینترنت استفاده می‌کنند. در این میان سهم نفوذ اینترنت ثابت ۱۰,۹۵ درصد و سهم نفوذ اینترنت موبایل ۸۳,۰۵ درصد اعلام شده است[7]. اینترنت ماهواره‌ای با پوشش وسیع در سراسر کشور می‌تواند ضریب نفوذپذیری اینترنت را به بالاترین سطح ممکن افزایش دهد. علاوه بر ضریب نفوذ اینترنت متوسط پهنای باند مصرفی نیز پارامتر مهمی است. در حال حاضر متوسط پهنای باند کشور ۲/۲ مگابیت بر ثانیه است که عدد خوبی نیست. با برنامه‌ها و چشم‌اندازهای کشور فاصله زیادی دارد. لذا با بهره‌گیری از اینترنت ماهواره‌ای در بکهالینگ شبکه و یا ارتباط مستقیم با کاربر می‌توان متوسط پهنای باند را افزایش داد.

۴-۳-۱۰. افزایش عدالت در دسترسی به خدمات شبکه ملی اطلاعات

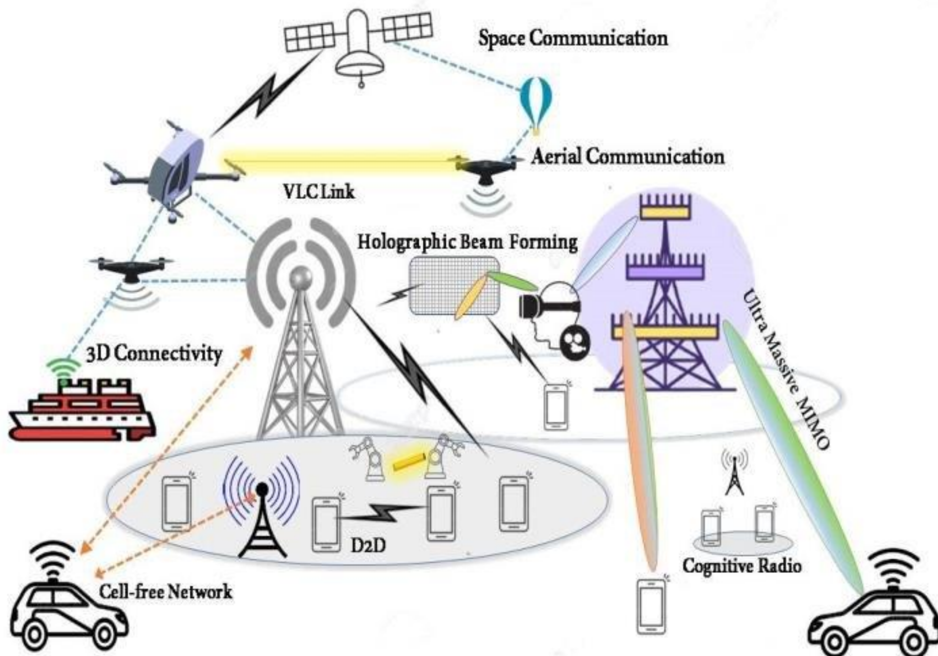
بر طبق بند ۴-۱-۷. سند الزامات ملی شبکه ملی اطلاعات، یکی از اهداف این شبکه، ایجاد عدالت در دسترسی به شبکه و خدمات آن می‌باشد. این در حالی است که با توجه به پراکندگی جغرافیایی ایران بدون استفاده از ارتباطات ماهواره‌ای، امکان ایجاد عدالت در دسترسی برای تمام ایرانیان وجود نخواهد داشت. ارتباطات ماهواره‌ای به سادگی امکان ایجاد ارتباط در نقاطی که به هر دلیلی امکان ارایه خدمات از طریق بسترهای زمینی وجود ندارد را فراهم خواهد کرد. این مسئله در نهایت موجب بهبود عدالت در دسترسی به خدمات شبکه ملی اطلاعات خواهد شد.

۴-۴. فرصت‌های فن‌آوری منظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای

۴-۴-۱. فرصت همگرایی در شبکه‌های مخابراتی

به نظر می‌رسد که در نسل‌های آتی ارتباطات، بین فن‌آوری‌های ارتباطی همگرایی به وجود خواهد آمد و یک شبکه فراگیر برای ارتباطات ایجاد خواهد شد. در حقیقت تصور مجامع علمی از آینده سیستم‌های مخابراتی این است که فن‌آوری‌های ارتباطی موجود نظیر

ماهواره‌ها همگی بخشی از یک شبکه فراگیر و یکپارچه عمومی مخابراتی خواهند بود. چنین دیدگاهی در شکل ۴-۵- نشان داده شده است. باید دقت نمود که الزامات کلی شبکه همگرا در شرایط مختلف، متفاوت است. در این میان فن‌آوری ماهواره با قابلیت‌های منحصر به فردی نظیر پوشش گسترده و فراگیر، نقش بسزایی در ایجاد یک شبکه همگرا و یکپارچه در تمام محیط‌ها را خواهد داشت.



شکل ۴-۵- همگرا شدن تمام شبکه‌های ارتباطی در یک شبکه فراگیر مخابراتی[8]

۴-۴-۲. امکان ایجاد و توسعه سرویس‌ها و بازارهای جدید

بهبود سرعت، کاهش تاخیر، افزایش قابلیت اطمینان و افزایش دسترسی از جمله نقاط قوت اساسی اینترنت ماهواره‌ای می‌باشد. شبکه‌ای که از اینترنت ماهواره‌ای بهره ببرد، می‌تواند سرویس‌ها و بازارهای جدیدی را شناسایی کند. به طور مثال بازار اتومبیل‌های خودران نیازمند شبکه‌های ترکیبی از سامانه‌های زمینی و غیرزمینی با قابلیت اطمینان بسیار بالاست. اینکه بحث ترمینال‌های غیرزمینی در سال‌های اخیر به طور مستقیم در شبکه 5G

وارد شده است. به این عنوان که بسیاری از خدمات شبکه 5G علاوه بر ترمینال غیرزمینی به یک روش پوشش‌دهی غیرزمینی نیز وابسته است.

۴-۴-۳. افزایش اشتغال در نقاط دورافتاده

نقاط محروم و دورافتاده همواره از داشتن امکانات اولیه جهت توسعه محروم مانده‌اند. با پوشش‌دهی راحت‌تر و کم‌هزینه‌تر این نقاط امکان افزایش اشتغال در روستاها و نقاط محروم فراهم خواهد شد. در حقیقت این مناطق نیز می‌توانند به شبکه اینترنت پرسرعت با کمترین هزینه ممکن متصل شوند که فرصت رشد و توسعه و افزایش اشتغال را در این مناطق فراهم خواهد کرد.

۴-۴-۴. امکان توسعه بهتر نسل‌های مخابرات بی‌سیم

چنانکه در بخش نقاط قوت اینترنت ماهواره‌ای عنوان شد، ابرمنظومه‌ها می‌توانند نقش بکهال این شبکه‌ها را داشته باشند. همچنین می‌توان ترافیک بالا را از طریق بکهال ماهواره‌ای منتقل نمود. از سوی دیگر در مبحث همگرایی شبکه‌های ارتباطی ماهواره‌ها نقش مهم و موثری خواهند داشت. تمام این موارد استفاده، منجر به توسعه بهتر نسل‌های مخابرات بی‌سیم خواهد شد.

نقشی که ماهواره‌ها می‌توانند در اکوسیستم 5G داشته باشند، بسیار مهم است. 3GPP[1] به عنوان یکی از مهم‌ترین نهادهای استانداردساز 5G در مارس ۲۰۱۷ فعالیت‌هایی برای بررسی نقش ماهواره‌ها در 5G آغاز کرد. پس از چند سال مطالعه در این زمینه در سال ۲۰۲۰ تصویب شد که شبکه‌های غیرزمینی (NTN) یکی از ویژگی‌های اصلی و جدید 5G خواهد بود [3]. شکل ۴-۶- طرح وان‌وب را برای بهبود بکهال مخابرات بی‌سیم نمایش می‌دهد. همانطور که در این طرح مشاهده می‌شود، بکهال سلول ماکرو در مخابرات سلولی علاوه بر تامین از طریق لینک مایکروویو می‌تواند از طریق لینک ماهواره‌ای با منظومه‌ی وان‌وب تامین شود. آنتن‌های جهتی لینک منظومه بر روی دکل نصب خواهند شد و امکان اتصال به بهترین ماهواره منظومه را در مواقع ضروری خواهند داشت.

1 3rd Generation Partnership Project (3GPP)



شکل ۴-۶- طرح وان‌وب و برای بهبود بکهال مخابرات بی‌سیم در نقاط مختلف [9]

۴-۴-۵. افزایش سرمایه‌گذاری خارجی و کنسرسیومی بر روی اینترنت ماهواره‌ای

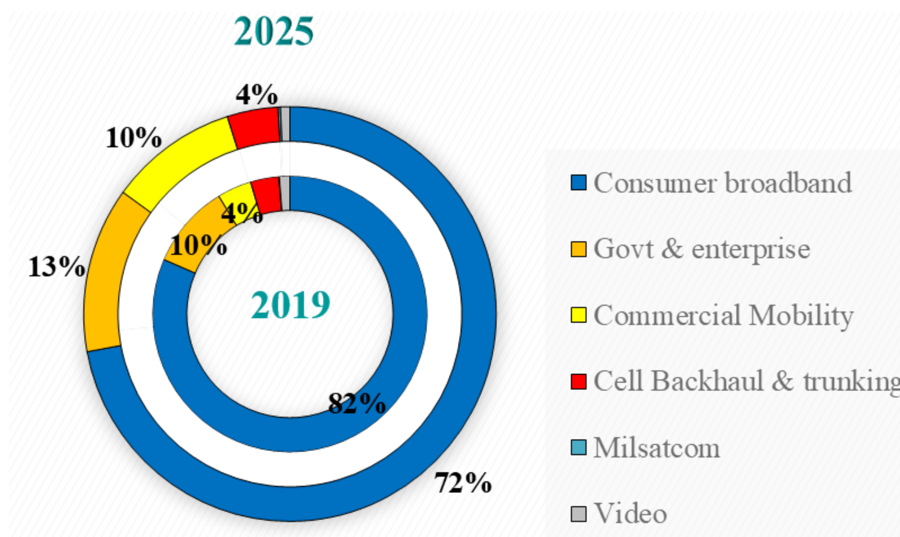
یکی دیگر از فرصت‌های پیشِ روی فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای را می‌توان افزایش سرمایه‌گذاری خارجی و ایجاد یک کنسرسیوم برای توسعه این فن‌آوری دانست. بسیاری از کشورها نظیر روسیه و کشورهای اتحادیه اروپا به جای پیشبرد فن‌آوری اینترنت پهن‌باند ماهواره‌ای به صورت درون حاکمیتی به دنبال طرح‌های کنسرسیومی با مشارکت چندین کشور برای توسعه این فن‌آوری هستند. چنین طرح‌هایی می‌تواند باعث جذب سرمایه‌گذاری خارجی در کشورها و توسعه متناسب فن‌آوری گردد.

۴-۴-۶. کسب درآمد ملی و منطقه‌ای از خدمات اینترنت ماهواره‌ای

بازار خدمات ماهواره‌ای، یکی از بازارهای بسیار مهم مخابراتی در سال‌های آتی خواهد بود. بر مبنای گزارشات بین‌المللی یوروکانزالت[1]، پیش‌بینی از آینده وضعیت ارتباطات ماهواره‌ای در ایران صورت می‌گیرد. بر طبق این گزارشات می‌توان شش دسته خدمت متداول در

1 EuroConsult

ماهواره‌های مخابراتی پرظرفیت را به شرح زیر معرفی نمود: پهن‌باند ماهواره‌ای[1] ؛ دولتی/ سازمانی[2]؛ متحرک[3]؛ بکهال[4] ؛ نظامی[5]؛ویدیو[6]. سهم ظرفیت این شش خدمت از ماهواره‌های پرظرفیت در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۵ در شکل ۴-۷- نشان داده شده است.



شکل ۴-۷- درصد ظرفیت هریک از خدمات ماهواره‌ای بر روی ماهواره‌های پرظرفیت (HTS) در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۵ [11]

با استفاده از گزارش‌های بین‌المللی می‌توان پیش‌بینی از ظرفیت مورد نیاز خدمات ماهواره‌ای بر روی ماهواره‌های پرظرفیت تا سال ۲۰۴۰ در کشور ایران نمود. بر این اساس در شرایط فعلی (سال ۲۰۱۹) ظرفیتی در حدود 1.5 Gbps برای خدمات ماهواره‌ای مورد نیاز خواهد بود. با در نظر گرفتن سهم ایران از نتایج گزارشات یوروکانزالت، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ ظرفیت مصرفی ایران در بخش خدمات ماهواره‌ای به حدود 7.92 Gbps برسد [۱۲]. در صورت رشد مشابه در سال‌های پس از ۲۰۲۵ تا سال ۲۰۴۰، ایران به پهنای باندی

1 Broadband Services
2 Gov. & Enterprise Services
3 Commercial Mobility Services
4 Cell Backhaul & Trunking Services
5 Milsatcom Service
6 Video Services

در حدود 138 Gbps در چهل سال آینده نیاز خواهد داشت. به طور مشابه چنین بازار پرپتانسیلی در سطح منطقه نیز می‌توان در نظر گرفت.

۴-۴-۷. توسعه صنایع پایین دست با تولید برخی از تجهیزات

یکی دیگر از فرصت‌های فن‌آوری ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای توسعه صنایع پایین دست با تولید تجهیزات در کشورها است. بسیاری از تجهیزات اینترنت ماهواره‌ای نظیر آنتن و مودم دریافت‌کننده می‌توانند بر اساس دانش بومی طراحی شوند و باعث افزایش اشتغال در کشورها گردند. همچنین طرح استفاده از فن‌آوری به صورت کنسرسیوم نیز با طراحی بسیاری از زیرسیستم‌ها می‌تواند منجر به رشد علمی صنایع پایین دست و افزایش اشتغال در این حوزه گردد.

۴-۵. نقاط ضعف فن‌آوری ابرمنظومه و اینترنت ماهواره‌ای

۴-۵-۱. افزایش تداخلات فرکانسی و نیاز به مدیریت آن‌ها

به طور بالقوه، استقرار تعداد زیادی ماهواره در مدار، مسائلی مانند تداخل با سایر ماهواره‌ها در مدار لئو و با ماهواره‌های موجود در مدار ژئو را ایجاد می‌کنند. همانطور که در مورد ماهواره‌های ژئو مطرح است، در مدار لئو هم اولویت با کاربری است که زودتر درخواست را به ITU تسلیم کند و استفاده از یک فرکانس خاص و موقعیت مداری از نظر حقوقی در برابر تداخل محافظت می‌شود. چنانکه در فصل سوم عنوان شد ماده ۲۲ مقررات رادیویی[1]، محدودیت تراکم توان (EPFD) برای محافظت از ماهواره‌های ژئو در برابر ماهواره‌های غیرژئو مشخص می‌شود و سیستم‌های غیرژئو را قادر می‌سازد تا فرکانس‌ها را با سیستم‌های ژئو، بدون نیاز به هماهنگی با تک تک سیستم‌ها در سراسر جهان به اشتراک بگذارند. در حال حاضر نیازی نیست که سرویس‌های لئو در مقابل سرویس‌های ژئو، محافظت شوند. بنابراین، تنها تغییر قابل توجه در چارچوب حقوقی بین‌المللی قابل اجرا برای ماهواره‌های لئو معرفی ماده‌ای برای محافظت از ماهواره‌های ژئو در برابر ماهواره‌های لئو بوده است.

1 Radio Regulations

با حضور منظومه‌های ماهواره‌ای هیچ‌گونه تغییر یا انطباقی در مقررات ITU مشاهده نشده است. برخلاف آنچه در دهه ۱۹۷۰ در رابطه با منابع ژئو اتفاق افتاد، تاکنون هیچ فراخوانی برای ایجاد یک رژیم حقوقی منحصر به لئو ایجاد نشده است. حتی وقتی ITU به طور خاص با این حجم از پیشنهاد منظومه‌های ماهواره‌ای در مدار لئو مواجه شد، اقدامی جهت ایجاد نظام حقوقی رگولاتوری جدید صورت نگرفت بلکه صرفا "یک فرایند هماهنگی جدید"، ایجاد گردید. بنابراین به طور کلی یک روش روشن و واضح برای تخصیص فرکانس به ابرمنظومه‌های NGO در ITU وجود ندارد.

در این میان بیشترین نگرانی‌ها مرتبط با ماهواره‌های ژئو است، دلیل اصلی این موضوع تردید در توانایی اپراتورهای ابرمنظومه‌های لئو برای جلوگیری از تداخل با ماهواره‌های ژئو می‌باشد. همچنین چون ماهواره‌های کوچک به ویژه ماهواره‌های مکعبی[1] به صورت دسته‌های بزرگ پرتاب می‌شوند (حدود ۱۰۰ و حتی بیشتر)، نگرانی در خصوص عدم قرارگیری دقیق در مدار پیش‌بینی شده و یا وجود ماهواره‌های خارج از کنترل و یا پرتاب بدون مجوز یا خلاف مجوز ITU، وجود دارد. بنابراین خطر پرتاب کنترل نشده و تداخل‌های احتمالی افزایش می‌یابد.

تاکنون اپراتورهای منظومه‌ای لئو پیشنهادات زیادی برای مدیریت تداخل با سایر منظومه‌ها و ماهواره‌های ژئو داشته‌اند. بطور مثال اسپیس‌ایکس پیشنهاد کرده است که اپراتورهای ماهواره‌های لئو داده‌ها مربوط به زاویه نشانه‌روی آنتن[2] ماهواره را به منظور کاهش تداخل درون خطی[3] با ماهواره‌های ژئو به اشتراک بگذارند. وان‌وب نیز متعهد شده که هماهنگی‌های لازم برای جلوگیری از ایجاد تداخل را انجام دهد. از آنجا که اپراتورها قصد صریح خود را برای همکاری برای دستیابی به هماهنگی اعلام کردند، منطقی به نظر می‌رسد، منتظر بمانیم که ببینیم، آیا همکاری و هماهنگی اپراتورها برای حل مشکل تداخل به نتیجه می‌رسد یا خیر؟ شاید در حال حاضر تلاش برای ایجاد مقررات اضافی در زمینه تداخل، ضرروی نباشد.

---

1 Cubesat
2 Steering angle
3 Inline events

در نهایت، راه‌حل رفع تداخل بین ماهواره‌ها ممکن است به صورت فنی (مانند استفاده از روش جهت‌دهی به آنتن به صورت پیشرفته پیشنهادی توسط وان‌وب) باشد (نه به صورت نظارتی). مثلا ممکن است با پیشرفت‌های فن‌آوری ماهواره‌ها و سیستم‌های زمینی از ارتباطات نوری استفاده نمایند. در این سیستم‌ها از لیزر، به جای امواج رادیویی، برای ارسال و دریافت داده‌ها استفاده خواهد شد و این سیستم‌ها از تداخل بالقوه و تاخیر ذاتی فرکانس‌های رادیویی مبرا هستند. در واقع، ممکن است تحولات فن‌آوری در آینده مشکل تداخل بین منظومه‌های ماهواره را حل نماید و در نتیجه نیاز به رگولاتوری بین ناوگان ماهواره‌های لئو نباشد. با توجه به این واقعیت که تمام پروژه‌های قبلی منظومه‌های ماهواره‌ای نسل اول، شکست خورده‌اند، عاقلانه به نظر می‌رسد که قبل از توسعه قوانین و مقررات خاص برای رگولاتوری ابرمنظومه‌ها، منتظر چگونگی استقرار ماهواره‌های آنها در مدار زمین ماند[13].

۴-۵-۲. ضعف امنیتی اینترنت ماهواره در حوزه سایبری

یکی از مباحث بسیار مهم در زمینه فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای، موضوع امنیت می‌باشد. ابرمنظومه‌ها می‌توانند یک نبرد سایبری با تغییر شکل زیرساخت‌های فیزیکی سنتی اینترنت و ایجاد یک لایه در مدار زمین انجام دهند. امروزه بیش از ۹۰ درصد ترافیک اینترنت توسط فیبر زیر دریا حمل می‌شود. این کابل‌های نوری بیش از هزاران مایل کف اقیانوس کشیده شده‌اند. این کابل‌ها نسبت به قطع شدن‌های تصادفی آسیب‌پذیر هستند و به احتمال زیاد مورد هدف دشمن در زمان جنگ قرار می‌گیرند. در سال‌های آتی منظومه‌های ماهواره‌ای به طور فزاینده‌ای به زیرساخت‌های حیاتی برای ایالات متحده آمریکا و اقتصاد جهانی تبدیل خواهند شد، اگر آن‌ها سهم بزرگتری از ترافیک مخابراتی جهانی را به خود اختصاص دهند. مالکیت زیرساخت‌های اینترنت می‌تواند ابزاری جهت استفاده از هوش مصنوعی ایجاد نماید که مزایای زیادی در جنگ سایبری دارد.

ابرمنظومه‌ها به احتمال زیاد خود به عنوان یک هدف برای عملیات سایبری هستند. تولید انبوه ماهواره‌ها برای یک ابرمنظومه می‌تواند به راحتی منجر به آسیب‌پذیری سایبری در کل شبکه گردد. ممکن است حمله سایبری به ماهواره‌های مرتبط با اینترنت، نسبت به

ماهواره‌های تخصصی، راحت‌تر باشد. در نگاه اولیه به نظر می‌رسد، فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای با چالش‌های امنیتی جدید زیر مواجه خواهد شد[14]:

- با توجه به ظرفیت محاسبات و ذخیره‌سازی محدودِ ماهواره‌ها، اینترنت ماهواره‌ای، پروتکل‌ها و الگوریتم‌های رمزنگاری با پیچیدگی بالا را پشتیبانی نمی‌کند و در نتیجه حفاظت از داده‌های ترافیک ضعیف خواهد بود.
- ساختار توپولوژیک شبکه‌های ماهواره‌ای لئو دائما در حال تغییر است، باز بودن مدار ماهواره نظارت بر آن را بسیار دشوار می‌کند.
- ماهواره ارتباطی یک محصول بسیار یکپارچه است، اجزای آن توسط بسیاری از تولیدکنندگان تأمین می‌شود. ممکن است حفره‌های امنیتی و نقص طراحی در تمام جنبه‌ها وجود داشته باشد. به خصوص فن‌آوری برنامه‌ریزی مجدد ماهواره در مدار هنوز به بلوغ نرسیده است که این موضوع باعث می‌شود، رفع نواقص امنیتی در مدار بسیار دشوار شود.

ارتباطات ماهواره‌ای دارای ویژگی‌های پوشش گسترده است، که می‌تواند داده‌ها را به تعداد زیادی از ترمینال‌های کاربر در یک محدوده بزرگ پخش کند. هنگامی که شبکه اینترنت ماهواره‌ای مورد حمله قرار می‌گیرد، تاثیر بیشتری از شبکه ارتباطی زمینی خواهد داشت، بنابراین به نظر می‌رسد، این شبکه‌ها تبدیل به هدف آسان‌تری برای هکرها خواهند شد. به طور خلاصه، مشکلات امنیتی که اینترنت ماهواره‌ای با آن مواجه است، شدیدتر از مشکلات شبکه زمینی خواهد بود. اگر اینترنت ماهواره‌ای مورد حمله قرار گیرد، طیف گسترده‌تری از نفوذ وجود خواهد داشت و باعث آسیب بیشتری خواهد شد.

۴-۵-۳. امکان انجام حملات ناشناس به ماهواره

فضا متعلق به کلیه جهانیان است و مرز ملی ندارد. بنابراین، ممکن است از فضا مهاجمان برای ترتیب دادن حملات ناشناس علیه ماهوارهٔ هدف در فضا استفاده نمایند. همچنین تعیین و ردیابی حملات به دلیل فاصله طولانی و اطلاعات محدود برای ماهواره مورد حمله دشوار است. از یک سو عوامل زیادی وجود دارد که منجر به شکست ماهواره می‌شود، مانند تغییرات در محیط فضا، نقص طراحی، مشکلات زیرسیستم‌ها و حتی تاثیر پسماندهای فضایی. از طرف دیگر برای ایستگاه زمینی قضاوت آنچه که در فضا اتفاق می‌افتد، بسیار

دشوار است. ترکیبی از این عوامل، مهاجم را قادر می‌سازد تا بهانه‌های معقول برای انکار حمله پیدا کند.

۴-۵-۴. شنود راحت‌تر داده‌های ارسالی در اینترنت ماهواره‌ای

با توجه به باز بودن ارتباط بی‌سیم لینک کاربر و لینک تغذیه، داده‌های منتقل شده از طریق شبکه ماهواره‌ای را می‌توان به راحتی شنود کرد. به علاوه رمزنگاری داده‌ها هزینه تجهیزات ترمینال ماهواره‌ای را افزایش می‌دهد و باعث کاهش نرخ بهره‌برداری از منابع لینک ماهواره‌ای می‌شود. بسیاری از شبکه‌های ارتباطی ماهواره‌ای داده‌های منتقل‌شده را رمزگذاری نمی‌کنند، بنابراین نشت داده‌ها بسیار آسان است. ممکن‌ترین روش‌های حمله به این قرارند:

- مهاجم از نوعی کارت دریافت اطلاعات ماهواره‌ای برای سرقت داده‌ها استفاده می‌کند که مشابه به کارت شبکه کامپیوتر است که این تهاجم با هزینه بسیار کم قابل انجام است.
- مهاجم برای حملات به شبکه از تجهیزات از رده خارج رها شده توسط تولیدکنندگان استفاده می‌کند.
- مهاجم می‌تواند از ماهواره VLEO[1] یا لئو در منظومه‌های ماهواره‌ای برون مرزی برای شنود داده‌های لینک کاربر و لینک تغذیه ماهواره داخلی استفاده کند.
- اگر منظومه‌های ماهواره‌ای ساخته شده دارای لینک بین ماهواره‌ای باشند، مهاجم می‌تواند از طریق این لینک‌های بین ماهواره‌ای برای شنود داده اقدام نماید. (با توجه به ارتباطات بی‌سیم، ماهواره مستعد شنود است). شنود داده‌ها اغلب با حمله به یکپارچگی داده‌ها ترکیب می‌شود. مهاجم اغلب با پیاده‌سازی شنود داده‌ها، سپس درج، اصلاح، جعل داده‌های به سرقت رفته، آن را به گیرنده داده برای رسیدن به هدف از بین بردن یکپارچگی داده‌ها ارسال می‌کند.

1 Very Low Orbit

روش دیگر برای شنود ماهواره جعل هویت است. به دلیل عدم وجود مکانیزم احراز هویت در لینک کاربر اینترنت ماهواره‌ای، لینک بازگشتی[1] و لینک بین ماهواره‌ای، سه مشکل جعل هویت در جنبه‌های زیر وجود دارد:

۱- اگر مکانیزم انتقال اتخاذ شده توسط سیستم ارتباطی عمومی باشد، مهاجم می‌تواند سیگنال فراسوی ماهواره را با توجه به سیگنال فروسو محاسبه نماید و سپس با استفاده از تجهیزات ارتباطی ماهواره‌ای به عنوان یک ایستگاه مجاز برای دسترسی به شبکه اقدام نماید و به طور غیرقانونی از خدمات استفاده نماید.

۲- مهاجم خود را به عنوان یک شبکه اینترنت ماهواره‌ای معرفی می‌کند، ایستگاه‌های مجوزدار را برای دسترسی به شبکه ماهواره‌ای اغفال می‌کند و بعد از برقراری ارتباط با ایستگاه مجوزدار اطلاعات شناسایی کاربر مربوطه و اطلاعات محل آن کاربر را به سرقت می‌برد.

۳- مهاجم خود را به عنوان ماهواره‌های مجاور در همان مدار یا مدار دیگر برای القای ماهواره هدف برای ایجاد لینک بین ماهواره‌ای با آن معرفی می‌کند، بدین ترتیب می‌تواند به اطلاعات مربوطه که توسط لینک بین ماهواره‌ای منتقل می‌شود، دست یابد.

مدل حملات به شبکه زمینی نیز در شبکه ماهواره‌ای قابل اجرا است، از این قبیل می‌توان به حمله DDoS [2] اشاره کرد. مهاجمان از نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی ترمینال‌های ماهواره‌ای برای ارسال درخواست‌های مجاز و ساختگی استفاده می‌کنند که منجر به خطای ماهواره‌ها می‌شود. بدین ترتیب ارایه خدمات به ایستگاه‌های مجاز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. با توجه به تنوع لینک‌های ارتباطی ماهواره‌ای، مقابله در برابر این نوع حمله دشوار است. چون هر مشتری دارای سیستم دریافت و ارسال است. اگر فرستنده دچار مشکل شود و نتواند پردازش موثر انجام دهد؛ موجب ایجاد تعداد زیادی اتصال ناپایدار و تعداد زیادی از درخواست‌های اتصال می‌شود. با این حال ماهواره‌ها نمی‌توانند کورکورانه این درخواست‌ها را رد کنند و طراحی سیستم‌های ماهواره‌ای قادر به مقابله در برابر این درخواست و همچنین محافظت شبکه (فایروال) نیستند. ماهواره‌ها نمی‌توانند تشخیص دهند که این درخواست‌ها

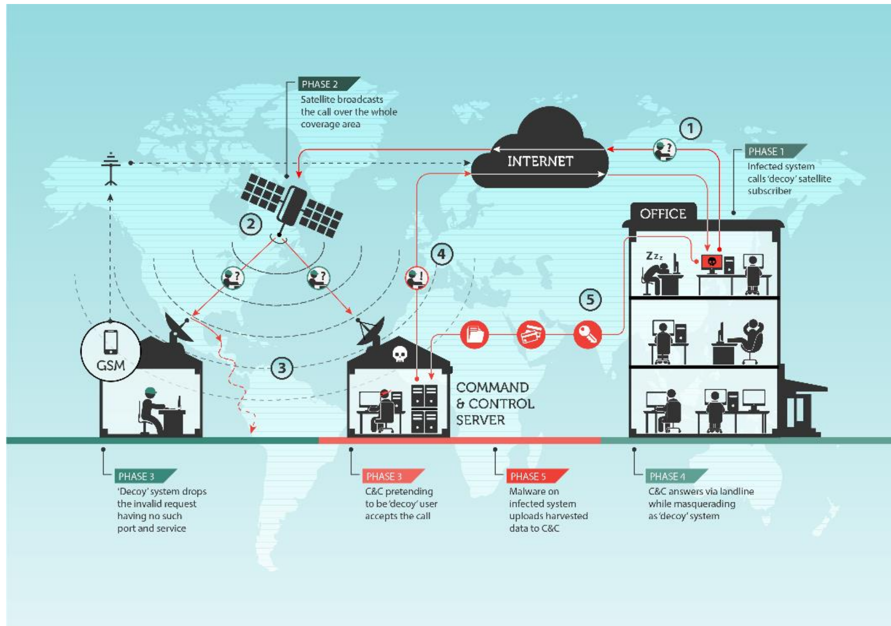
1 Feedback link
2 Distributed Denial-of-Service

از ایستگاه‌های مجاز و یا مهاجمان مخرب می‌آیند که منجر به ایجاد مشکلات و اختلال در ارایه خدمت می‌گردد.

اگر مدار یک ماهواره خارجی پایین‌تر از مدار یک ماهواره داخلی باشد (برای مثال، پایین‌ترین مدار اسپیس‌ایکس حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتر است)، مهاجم می‌تواند از روش مشابه به ایستگاه پایه شبه زمینی برای انجام حمله استفاده کند. به عنوان مثال، روش حمله اژدر[1] در سیستم 4G می‌تواند در لینک ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گیرد. مهاجم می‌تواند از ایستگاه مجاز برای ارسال صفحات متعدد وب به ایستگاه مورد حمله استفاده کند و این اطلاعات شناسایی کاربر را افشا خواهد کرد که می‌تواند توسط ماهواره لئو و تجهیزات زمینی متعلق به مهاجم برای ردیابی محل کاربر و آوردن تهدیدات بزرگ امنیتی مورد استفاده شود.

شکل ۴-۸- مراحل یک حمله امنیتی پیچیده که در سپتامبر ۲۰۲۱ توسط کسپراسکای گزارش شده را نشان می‌دهد. در این حمله لینک ماهواره برای ارسال اطلاعات به سرور مورد نظر، استفاده می‌شده است. ویروس وارد شده در سیستم قربانی، اطلاعات را از طریق لینک ماهواره با کدگذاری مشخص ارسال می‌کرده که سرور توانایی دریافت آن را نداشته و هکر در نقطه کاملا نامشخص از این اطلاعات بهره می‌برده است. به علت پوشش گسترده ماهواره شرکت کسپراسکای این حمله را یکی از مخفیانه‌ترین حملات هکری و غیرقابل ردیابی در جهان دانسته است [15].

1 Torpedo



شکل ۴-۸- حمله امنیتی پیچیده از طریق ماهواره که توسط کسپراسکای در سپتامبر ۲۰۲۱ گزارش شد [15]

۴-۵-۵. امکان رهگیری غیرقانونی از محل کاربر

یکی دیگر از ضعف‌های فن‌آوری ابرمنظومه و اینترنت ماهواره‌ای رهگیری غیرقانونی از محل کاربر است. بر خلاف ماهواره‌های ژئو سنکرون، ماهواره‌های ابرمنظومه‌ها دائما در حال حرکت در فضا هستند. برای اینکه کاربر زمینی بتواند بهترین دریافت از ماهواره‌های ابرمنظومه را داشته باشد، این سیستم‌ها (شبکه منظومه‌های ماهواره‌ای) باید محل دقیق کاربر را بدانند و بر اساس آن آنتن زمینی، ماهواره بتواند در جهت مناسب خود را تنظیم کند. در حال حاضر ترمینال زمینی منظومه اسپیس‌ایکس دارای قابلیت جهت‌یابی هوشمند برای آنتن زمینی براساس اطلاعات مکانی است. پیش‌بینی می‌شود، مکانیزم‌های مشابهی برای سایر منظومه‌های لئو به کار برود. بدین ترتیب قابل پیش‌بینی است که کاربران ابرمنظومه‌ها در گام اول موقعیت دقیق خود را با سیستم‌های موقعیت‌یاب اعلام نمایند. این امر می‌تواند منجر به رهگیری غیرقانونی محل کاربر شود. این رهگیری می‌تواند توسط خود اپراتور یا یک هکر ثالث صورت پذیرد.

۴-۵-۶. امکان کنترل مخرب ماهواره از زمین

گروهی دیگر از تهدیدات امنیتی مسائل مرتبط با تجهیزات هستند. از جمله این تهدیدات می‌توان به کنترل مخرب ماهواره و مصرف مخرب منابع ماهواره‌ای اشاره نمود. با توجه به فقدان استانداردهای امنیت شبکه برای ماهواره‌های تجاری، زنجیره تأمین پیچیده ماهواره‌ها و استفاده سازندگان ماهواره از فن‌آوری‌های آماده برای حفظ هزینه پایین راه را برای نفوذ هکرها به شبکه ماهواره‌ای را باز می‌کند چون در دسترس بودن گسترده این قطعات امکان تجزیه و تحلیل قطعات را از نقطه نظر آسیب‌های امنیتی برای هکرها را مهیا می‌کنند. علاوه بر این، بسیاری از قطعات از فن‌آوری متن‌باز استفاده می‌کنند و هکرها ممکن است آسیب در نرم‌افزار ماهواره‌ها را آسیب‌پذیر نمایند و ماهواره‌ها را در برابر خطرات امنیتی، توسط کنترل مخرب آسیب‌پذیر کنند.

ابزار کنترل مخرب ماهواره به این قرار است:

۱- مهاجم می‌تواند ماهواره هدف در فضا را ضبط و ماهواره را به خارج مدار کار خود بکشاند و باعث شود که کل منظومه ماهواره‌ای قادر به ارایه خدمات مستمر نباشند. همچنین پس از آنکه ماهواره را از مدار خود خارج کرد، مهاجم می‌تواند ویروس را به ماهواره اسیر شده تزریق کند، سپس به مدار خود بازگرداند و باعث گسترش ویروس در کل شبکه اینترنت ماهواره‌ای شود. از نظر فن‌آوری امکان در اختیار گرفتن ماهواره توسط هکرها وجود دارد.

۲- ماهواره‌ها معمولاً توسط ایستگاه‌های زمینی کنترل می‌شوند. این ایستگاه‌ها در برابر حملات به شبکه مانند یک کامپیوتر آسیب‌پذیر هستند. اگرچه حمله به کنترل‌کننده ماهواره به این سادگی‌ها نیست، اما می‌توان آن را تحقق بخشید. اگر حفره‌های امنیتی وجود داشته باشد، می‌تواند توسط هکرها در ایستگاه زمینی مورد استفاده قرار گیرند. هکرها ممکن است، به این ایستگاه‌ها حمله کنند و می‌توانند دستورالعمل‌های مخربی را برای کنترل ماهواره ارسال کنند، یا می‌توانند از آن به عنوان ابزار ویژه‌ای برای فریب ماهواره و در نهایت رسیدن به هدف، یعنی حمله به اینترنت ماهواره‌ای استفاده کنند. به عنوان مثال مهاجم می‌تواند پس از کنترل ماهوارهٔ هدف، حملات بیشتری انجام دهد. مهاجم می‌تواند از کانال پخش ماهواره هدف برای ارسال حجم زیادی داده‌های هرز و یا گسترش ویروس‌ها به کل اینترنت ماهواره‌ای بپردازد یا می‌تواند ماهواره هدف را خاموش کند تا قادر به ارایه خدمات

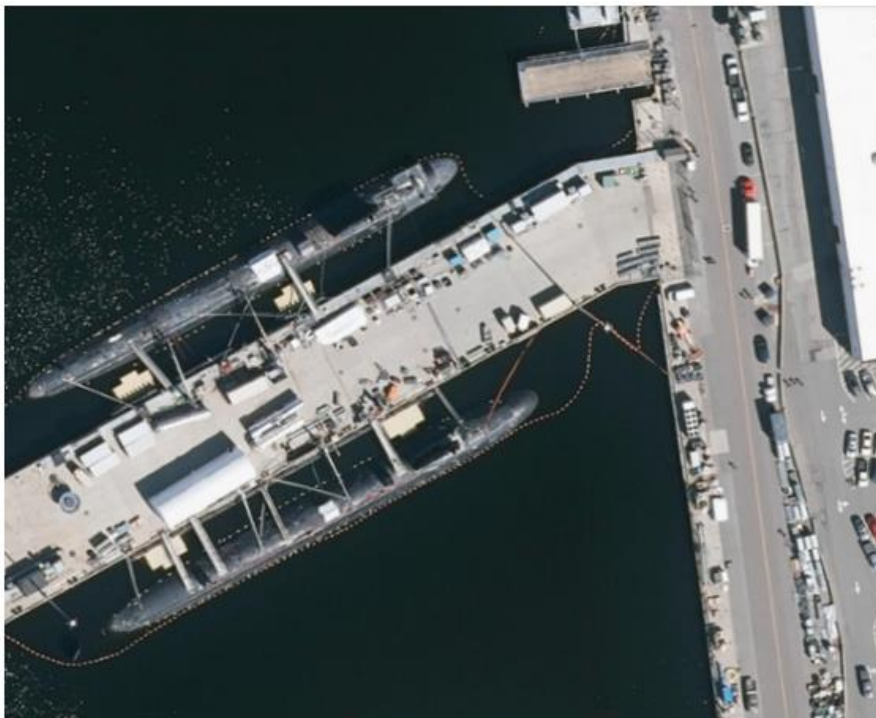
معمول خود نباشد. اگر هکرها قادر به کنترل ماهواره هدف باشند، می‌توانند مدار ماهواره را تغییر دهند و با آن استفاده از آن ماهواره به سایر ماهواره‌ها و یا حتی ایستگاه فضایی بین‌المللی صدمه بزنند. مهاجمان همچنین می‌توانند با مصرف سوخت ماهواره (پیشران)، به طور مستقیم بر طول عمر ماهواره‌ها تأثیر بگذارند.

۴-۶. تهدیدهای فن‌آوری ابرمنظومه و اینترنت ماهواره‌ای

۴-۶-۱. تهدید امنیت ملی با حضور ابرمنظومه

همانطور که گفته شد، ابر منظومه به جهت ارایه اینترنت ماهواره‌ای شامل تعداد زیادی ماهواره است که در ارتفاع مداری بین ۳۰۰ کیلومتر و ۲۰۰۰ کیلومتر متمرکز شده است. اگر ماهواره‌های مربوطه مجهز به محموله‌های رصدی با قابلیت اسکن با وضوح بالا باشند، این تعداد زیاد ماهواره، زیرساخت‌های نظامی کشورهای سراسر جهان را افشا خواهند کرد و تهدیدی برای امنیت ملی خواهند بود. بسیاری از شرکت‌ها در حال توسعه منظومه ماهواره‌ای در مدار زمین بسیار پایین[1] هستند. سیستم پیشرانش و طراحی نوآورانه ماهواره را قادر خواهد ساخت تا در مدار بسیار پایینی قرار گیرد. به عنوان مثال، در شکل ۴-۹- تصویری از کشتی نیروی دریایی که توسط یک ماهواره VLEO شرکت EOI[2] گرفته شده است را نشان می‌دهد.

1 VLEO
2 Earth Observation Industry



شکل ۴-۹- تصویری از کشتی نیروی دریایی که توسط یک ماهواره VLEO گرفته شده است[14]

۴-۶-۲. تسلط اپراتور خارجی بر زیرساخت ارتباطات ماهواره‌ای

اینترنت ماهواره‌ای در گام‌های ابتدایی خود می‌باشد. قطعا این فن‌آوری به زودی همانند فن‌آوری فیبر، بخشی از زیرساخت ارتباطی کشورها خواهد شد. هرچند که شاید هرگز این فن‌آوری جایگزین فن‌آوری‌های زمینی نشود ولیکن می‌توان در آینده متصور بود که بخش قابل توجهی از زیرساخت ارتباطی کشورها از طریق فن‌آوری ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای تأمین شود. در صورتی که این فن‌آوری به طور کامل رها شود، به نوعی بخشی از زیرساخت ارتباطی آینده در اختیار یک یا چند اپراتور خارجی قرار خواهد گرفت. این مسئله می‌تواند بسیار تهدیدکننده باشد. چرا که در سال‌های آتی بسیاری از خدمات و کاربردها بر روی این بستر قرار خواهند گرفت. همانطور که در شرایط فعلی زیرساخت ارتباطات زمینی کشور، جز مسائل حیاتی می‌باشد و باید لایه‌های حفاظتی متعددی داشته باشد. در آینده

نزدیک زیرساخت‌های ارتباطات ماهواره‌ای نیز چنین شرایطی خواهند داشت. بنابراین تسلط اپراتور خارجی بر زیرساخت ارتباطات ماهواره‌ای یک تهدید جدی خواهد بود.

۴-۶-۳. خروج ارز از کشور

در صورتی که تمهیدات لازم برای استفاده از فن‌آوری صورت نگیرد، تهیه اشتراک اینترنت ماهواره‌ای و خرید تجهیزات آن منجر به خروج ارز و ثروت ملی از کشورها خواهد شد. باتوجه به ضعف سیستم‌های زمینی در کشورهای جهان سوم، اگر حاکمیت این کشورها به طور کامل فن‌آوری را نفی نماید، احتمالا مسئله خروج ارز به صورت غیرقانونی تهدید جدی‌تری در این فن‌آوری خواهد بود. همچنین باید دقت نمود که اگر راه ارتباطی قانونی برای تهیه فن‌آوری در نظر گرفته نشود، احتمال سوء استفاده‌های مالی نیز به وجود خواهد آمد. چنانکه در شرایط فعلی نیز برخی افراد سودجو، تجهیزات تقلبی از این فن‌آوری را به فروش رسانده‌اند[16].

۴-۶-۴. عدم همکاری اپراتور خارجی با حاکمیت در مواقع بحران

چنانکه می‌دانیم بحران‌ها می‌توانند هم عوامل طبیعی داشته باشند نظیر سیل، زلزله و آتش‌سوزی و هم عوامل انسانی و غیرطبیعی داشته باشند نظیر جنگ یا ناآرامی منطقه‌ای. پیش از این و در بخش نقاط قوت عنوان شد که ماهواره به علت پوشش گسترده و همچنین عدم نیاز به زیرساخت زمینی محلی یک گزینه بسیار مهم در مواقع بحران خواهد بود. در صورتی که اپراتور ارایه‌دهنده خدمات اینترنت ماهواره‌ای خارج از کشور سرویس دهنده باشد، این اپراتور می‌تواند در هر دو نوع بحران همکاری مناسبی را با حاکمیت ایجاد ننماید و حتی به نقطه تهدید تبدیل شود. مثال‌های فراوانی از عملکرد معکوس پیام‌رسان‌های خارجی در ناآرامی‌های منطقه‌ای وجود دارد که قابل تعمیم به سایر بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی نیز می‌باشد.

۴-۶-۵. تسلط اپراتور خارجی بر مدیریت ترافیک فضایی و پرتاب ماهواره

مسئلهٔ پرتاب هزاران ماهواره در طرح ابرمنظومه‌ها باعث پدید آمدن بحث بسیار مهم دیگر در ادبیات سامانه‌های فضایی به نام مدیریت ترافیک فضایی[1] شده است. مدیریت ترافیک فضایی در واقع به گردآوری تمامی اطلاعات و داده‌های پسماندها و سامانه‌های فضایی و نظارت و ارایه مقررات برای مدیریت سیستم‌های فضایی می‌پردازد. آکادمی بین‌المللی فضانوردی[2]، مدیریت ترافیک فضایی را این گونه تعریف می‌کند:

«مدیریت ترافیک فضایی، مجموعه‌ای از مقررات فنی و نظارتی برای ارتقای دسترسی ایمن به فضا، عملیات در فضا و همچنین برگشتن از فضا به زمین است، به گونه‌ای که عاری از هرگونه تداخل فیزیکی و رادیوفرکانسی باشد».

در ایالات متحده آمریکا، دونالد ترامپ، رئیس جمهور آمریکا، در ۱۸ ژوئن ۲۰۱۸ دستورالعمل سیاست فضایی -۳ را امضا کرد، که مدیریت ترافیک فضایی را به عنوان برنامه‌ریزی، هماهنگی و همگام‌سازی مداری جهت افزایش ایمنی، ثبات و پایداری عملیات در محیط فضا تعریف می‌کند.

باید دقت نمود، بحث مدیریت ترافیک فضایی یک موضوع بسیار جدید در عرصه فضا می باشد و در اولین گام باید داده‌های کافی از مسائل و ماموریت‌های اشیاء فضایی جمع‌آوری گردد. مسئله‌ای که البته به خاطر ملاحظات امنیتی با کندی در سال‌های اخیر پیش رفته است. به نظر می‌رسد، با افزایش تراکم بیشتر در مدار زمین، انگیزه‌ها برای شفاف‌سازی بیشتر داده‌ها افزایش یابد و بسیاری از اطلاعات از حالت محرمانه خارج شوند. بنابراین، متصدیان ماهواره‌های نظامی می‌بایست رویکردهای جدیدی را در خصوص شفافیت و امنیت ملی در قبال به اشتراک‌گذاری داده‌های آگاهی موقعیتی فضایی به کار گیرند.

در کنار اقدامات جهت افزایش داده‌ها در زمینه مدیریت ترافیک فضایی به نظر می‌رسد، اپراتورهای ماهواره‌ای از طریق برگزاری کنفرانس‌ها و انجمن‌ها در حال هماهنگی بین یکدیگر جهت ارایه دستورالعمل‌ها و توصیه‌نامه‌های مدیریت فضایی در سال‌های آتی هستند.

---
1 Space Traffic Management
2 The International Academy of Astronautics

از جمله این انجمن‌ها می‌توان به سازمان CONFERS [1] در ایالات متحده آمریکا اشاره کرد. این سازمان دارای بودجه اولیه از آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفته دفاعی آمریکا، دارپا [2]است و متشکل از تمامی بازیگران اصلی و مهم نظیر اپراتورها و پرتاب‌کننده‌های فضایی در ایالات متحده آمریکا می‌باشد. این سازمان از طریق برگزاری کارگاه‌ها در حال تدوین مجموعه دستورالعمل‌های مدیریت ترافیک فضایی بین اپراتورها هست. به نظر می‌رسد، با اجرای این مقررات توسط بازیگران اصلی، سایر بازیگران نیز در عرصه جدید فضا باید از دستورالعمل‌های تهیه شده پیروی نمایند. مسئله‌ای که احتمالا برای کشورهای در حال توسعه به هیچ عنوان مطلوب نخواهد بود [17]. قابل پیش‌بینی است که در آینده نزدیک و با حضور هزاران ابرمنظومه موضوع پنجره پرتاب‌های کشورهای مختلف بسیار محدود شود و هر کشور برای پرتاب ماهواره روند سخت‌تری را طی نماید.

۴-۶-۶. کاهش دسترسی به مدار لئو و تهدید منابع مشترک مداری

در حال حاضر تنها چند کشور مالکیت ماهواره‌های غیرزمین‌آهنگ را در اختیار دارند بنابراین اختلاف بر سر مالکیت مدارهای غیرزمین‌آهنگ، در سال‌های آتی به شدت اوج می‌گیرد حتی بیشتر از وضعیت فعلی و برخی از کشورها به طور یک جانبه از این مدارها و طیف‌ها بدون در نظر گرفتن حقوق سایر کشورها بهره‌برداری خواهند کرد. سرانجام کشورهایی که امروزه دارای صنعت فضایی نیستند و یا در حال حاضر علاقمندی برای توسعه بخش فضایی ندارند، وجود ابرمنظومه‌ها مانع جدی برای رشد فناوری فضایی آنها خواهد بود و یا به طور باورنکردنی با وجود ابرمنظومه‌های خارجی، فعالیت بخش فضایی آنها کاهش یافته و حتی در نهایت به خدمات ارایه شده توسط آنها وابسته خواهد شد و بازار هدف ابرمنظومه‌ها خواهند بود. در حقیقت، به مسئله کمبود مدار و طیف برای پایدارای فعالیت منظومه‌های ماهواره‌ای در طولانی مدت باید به طور جدی توجه شود. عدم وجود هرگونه بحث در مورد دسترسی عادلانه برای منابع مداری غیرژئو فقط نگران‌کننده نیست بلکه به طور بالقوه با ماده اول و دوم معاهده فضای ماورای جو کوپوس نیز تضاد دارد.

---

1 The Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operation
2 Defense Advanced Research Projects Agency(DARPA)

به علت عدم وجود یک رویکرد مبتنی بر دسترسی عادلانه به منابع مدارهای غیرژئو کشورها وادار به ثبت منظومه‌هایی شده‌اند که هیچ وقت قرار نیست، عملیاتی شوند. این کشورها یا بازیگران شاید هیچ وقت منابع و یا برنامه‌ای برای عملیاتی کردن این منظومه‌ها نداشته باشند. این موضوع می‌تواند بر کلیه فعالیت‌های اپراتورهای ماهواره‌ای در سراسر جهان تأثیر بگذارد و باعث افزایش مشکلات بوروکراتیک برای اپراتورهای ماهواره‌ای و دولت‌ها شود.

البته باید به این نکته نیز اشاره کرد که ترس از اشباع بیش از حد لئو، ممکن است اغراق آمیز باشد چرا که از حدود ۲۰ هزار ماهواره پیشنهادی، کمتر از ۱۰درصد آنها احتمالا امکان دارد که پرتاب شوند و طول عمر ماهواره‌های مکعبی یا ماهواره‌های کوچک خیلی کوتاه است. ممکن است اجرای اصل دسترسی عادلانه در مدار غیرزمین‌آهنگ، اثر منفی و عکس داشته باشد چون با معرفی مدارها و فرکانس‌های برنامه‌ریزی شده (plan)، تقسیمات طیفی بیشتر اتفاق می‌افتد و یک لایه اضافه بروکراسی ایجاد خواهد شد[13].

۴-۶-۷. کاهش دید از آسمان و تاثیر بر نجوم

یکی دیگر از چالش‌های ابرمنظومه‌ها تاثیر بالای آن‌ها بر علوم نجوم و ستاره‌شناسی است. این مسئله در سال‌های اخیر به شدت مورد اعتراض منجمان و دانشمندان علوم فضایی قرار گرفته است و سازمان‌ها و ارگان‌های مرتبط در این حوزه بارها تلاش کرده‌اند که روند پرتاب ابرمنظومه‌ها به کلی متوقف شود[18] و [19].

مسئله اصلی در مورد ابرمنظومه‌ها، میزان دید آنها از زمین به ویژه در سحر و غروب، یا بلافاصله پس از پرتاب است. در حال حاضر چندین گزینه برای کاهش اثرات وجود دارد. عامل اصلی در ایجاد آلودگی نوری از منظومه‌ها، اندازه ماهواره‌ها است که در حال حاضر این اندازه حدود یک متر است. راه‌حل‌های پیشنهادی علاوه بر کوچک کردن بیشتر ماهواره‌ها، شامل مراحل تاریک کردن ماهواره‌ها و محاسبه موقعیت ماهواره‌ها برای درک از نظر زمان یا مکان برای نجوم است. البته تنها راه جلوگیری از تأثیرات منفی منظومه‌های لئو، توقف پرتاب کامل آنهاست. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که منظومه‌ها تقریبا بر تمام عرصه‌های نجوم اثر می‌گذارند و تاثیرات منفی آن‌ها اجتناب ناپذیر است. شکل ۴-۱۰- شمایی از آسمان در غروب خورشید بر فراز مزرعه آفتابگردان در جنوب برزیل را نشان می‌دهد که در آن تعدادی از ماهواره‌های استارلینک در حال عبور هستند[20].



شکل ۴-۱۰- نمای آسمان غروب بر فراز مزرعه آفتابگردان در جنوب برزیل را که در آن تعدادی از ماهواره‌های استارلینک در حال عبور هستند[20]

مسئله ابرمنظومه‌ها در حال حاضر برای نجوم فراتر از یک چالش و در حد بحران است. در سال‌های اخیر گزینه‌هایی برای کاهش اثرات منظومه‌ها بررسی شده است. اسپیس‌ایکس تمام ماهواره‌های سال ۲۰۲۲ خود را با پوشش خاصی روانه مدار کرده که کمترین اثر را بر علم اخترشناسی داشته باشد. این شرکت در کار با محققان نجوم بسیار همکاری کرده است و منابع قابل توجهی را برای یافتن راه‌حل‌هایی برای این بحران برای نجوم اختصاص داده است. این امیدواری وجود دارد که همه اپراتورهای ماهواره‌ای از الگوی رفتاری اسپیس‌ایکس پیروی کنند، با این حال هیچ تضمینی برای چنین همکاری و هیچ قانونی برای پاسخ‌گویی بازیگران بد وجود ندارد.

با توجه به اینکه به نظر می‌رسد، هیچ راهی برای توقف کامل ابرمنظومه‌ها وجود ندارد، اخترشناسان و ارگان‌های مرتبط با آن‌ها در سال‌های اخیر تلاش فراوانی برای قانون‌مند

کردن این سامانه‌ها داشته‌اند. برگزارکنندگان کنفرانس آسمان‌های تاریک و آرام برای علوم و جامعه[1]، که در اکتبر سال ۲۰۲۰ توسط دفتر یونوسا، اتحادیه بین‌المللی نجوم و انستیتوی نجوم کاناریاس به صورت آنلاین برگزار شد. امیدوارند که توصیه‌های کنفرانس برای حفاظت از آسمان شب برای نجوم، میراث انسانی و جهان طبیعی توسط مجمع عمومی سازمان ملل متحد تصویب شود. این تلاش‌ها با ابتکارات بیش از ۴۰ جامعه علمی حرفه‌ای، از جمله انجمن نجوم آمریکا، تکمیل شد. به نظر می‌رسد، تلاش‌های قانونی تنها راه پیشِ رو برای بحران نجوم با حضور ابرمنظومه‌ها است[20].

۴-۶-۸. افزایش پسماندهای فضایی

در فصل سوم به تفصیل به بررسی بحث پسماندهای فضایی پرداخته شد. چنانکه عنوان شد، میزان پسماندهای فضایی به صورت تصاعدی در حال افزایش است و به مرز بحران رسیده است. پسماندهای فضایی خطری بسیار جدی نه فقط برای ابرمنظومه‌ها که برای تمام ماهواره‌ها و مأموریت‌های فضایی عصر فضایی جدید است. به نظر می‌رسد، در صورتی که پسماندهای فضایی از بین نرود، برخورد "زنجیره‌ای" این قطعات سرگردان با همدیگر، ذراتی کوچکتر و متعددتر ایجاد خواهد کرد. این ایده توسط دانشمند ناسا دونالد کسلر در سال ۱۹۷۸ بیان شد و به سندروم کسلر[2] معروف است. بر طبق این سندروم اگر میزان زیادی پسماندی فضایی در فضا باشد، می‌تواند باعث ایجاد یک واکنش زنجیره‌ای از برخوردها شود و برخوردهای بیشتر قطعات بیشتری تولید می‌کنند تا جاییکه نهایتا مدار زمین غیرقابل استفاده خواهد شد[21].

در دوران حضور ابرمنظومه‌ها، مسئله پسماندهای مدار لئو بسیار پراهمیت خواهد بود. در حقیقت این پسماندها تهدید برای کل فن‌آوری هستند و هم خود ابرمنظومه‌ها تهدید اساسی برای افزایش پسماندها و ایجاد پدیده کسلر و تعطیلی کامل مدار لئو هستند. در صورتی که قوانین الزام‌آور برای جلوگیری از افزایش پسماندهای فضایی به صورت جدی به کار گرفته نشوند، به زودی زمانی می‌رسد که پرتاب ماهواره در مدارهای مختلف زمین نیز

1 Dark and Quiet Skies for Science and Society conference
2 The Kessler Syndrome

امر چالش‌برانگیزی باشد. لذا این تهدید باید هم در حوزه ملی و هم در حوزه بین‌المللی جدی تلقی شود.

۴-۶-۹. ایجاد رقیب برای اپراتورهای ارایه‌دهنده خدمت داخلی

باید دقت نمود که اساسا فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای به دلیل محدودیت‌های ذاتی که در ارایه پهنای باند دارد، به جهت رقابت با شبکه‌های زمینی ارایه نشده‌اند و هدف از ارایه این فن‌آوری تکمیل پوشش‌های شبکه زمینی است. در حقیقت ماهواره‌ها امکان ارایه خدمت به مناطق متراکم با پهنای باندهای بسیار بالا را ندارند و صرفا برای ۲۰ درصد جمعیت در نقاط دورافتاده طراحی شده‌اند. شبکه‌های زمینی با سلول‌بندی و قابلیت تخصیص دوباره فرکانس در نقاط بسیار کوچک و متراکم، پهنای باندی به مراتب بیشتر از شبکه‌های ماهواره‌ای خواهند داشت. بنابراین نقش اصلی ماهواره، نقش مکمل و نه رقیب شبکه زمینی است.

با این وجود محدودیت‌های فراوان در شبکه زمینی، عدم توسعه مناسب این شبکه و افت کیفیت شبکه زمینی منجر به از دست دادن جایگاه طبیعی خود در مقابل فن‌آوری ماهواره خواهد شد. در کشورهایی که کاربران از شبکه زمینی رضایت کافی نداشته باشند، ماهواره به جای نقش مکمل، نقش رقیب برای شبکه زمینی خواهد داشت. این مسئله در نهایت منجر به کاهش درآمدهای بخش مخابرات و افزایش تقاضا و درآمد برای ارایه‌دهنده خدمت خارجی اینترنت ماهواره‌ای خواهد شد.

۴-۶-۱۰. احتکار فرکانس و مدار توسط اپراتورهای خارجی

همانطور که بیان شد، منابع فرکانسی/ مدار از منابع کمیاب می‌باشند، در صورت عملیاتی شدن تعداد زیادی از ابرمنظومه ماهواره‌ای، طبیعی است که پدیده احتکار طیف و مدار به وجود خواهد آمد. در این حالت به نظر می‌رسد، چالش‌های بسیار بزرگی با حضور ابرمنظومه‌ها در حوزه‌های مدیریت طیف رخ می‌دهد، چالش‌هایی که مانند حق حاکمیتی رگولاتوری در سطح ملی مطرح است و مانند احتکار طیف و مدار در سطح جهانی مطرح خواهد شد.

در زمینه حق حاکمیتی باید معاهدات حقوق سرزمینی[1] بین کشورها تصویب شود. برخی اظهار نظرها از کشورهایی نظیر روسیه و چین نشان می‌دهد، این کشورها موافق ارایه خدمت ابرمنظومه‌های خارجی نظیر اسپیس‌ایکس و وان‌وب در کشور خود نیستند[13]. از سوی دیگر شرکت‌های خصوصی نظیر وان‌وب و اسپیس‌ایکس نیز تاکنون تمایلی به ارایه خدمت بدون هماهنگی با رگولاتوری‌های کشور ثالث نداشته‌اند. به طور مثال ایلان ماسک هرگونه ارایه خدمت به چین بدون هماهنگی را رد کرده است [13]. در نمونه دیگر وان‌وب صراحتا اعلام کرده است که علت حذف لینک بین ماهواره‌ای در طرح ابرمنظومه خود توافق بهتر با رگولاتوری‌های منطقه‌ای است چرا که با طرح وان‌وب عملا ترافیک اینترنت به دروازه کاملا مشخص و کنترل شده منتقل خواهد شد 0[13].

۴-۶-۱۱. عدم امکان رهگیری و نظارت بر ترافیک اینترنت

یکی دیگر از نقاط ضعف فن‌آوری ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای عدم امکان رهگیری و نظارت بر ترافیک اینترنت از سوی حاکمیت یا نهادهای نظارتی است. البته باید دقت نمود که در شرایط فعلی نیز در بسیاری از کشورها ازجمله ایران بخشی از ترافیک شبکه بر روی زیرساخت‌های زمینی ولیکن با استفاده از فیلترشکن بدون رهگیری خاصی رد و بدل می‌شود. در حقیقت فیلترشکن‌ها ضمن اینکه هزینه حمل اطلاعات را به شبکه‌های داخلی تحمیل می‌نمایند، امکان تبادل بدون رهگیری را فراهم می‌آورند. در فن‌آوری ابرمنظومه و اینترنت ماهواره‌ای باتوجه به حضور لینک بین ماهواره‌ای در بسیاری از منظومه‌ها عملا نقاط ارتباطی تبادل اطلاعات می‌تواند به طور کامل مخفی بماند و حاکمیت و نهادهای نظارتی حتی آمارهای درستی از مصرف یا تبادل داده در کشور نیز نداشته باشند.

۴-۶-۱۲. دانش ناکافی نهادهای نظارت به نحوه کنترل و نظارت

امروزه نهادهای نظارتی متعددی به جهت حراست و حفظ امنیت در فضای مجازی وجود دارند. این نهادها برای کسب اطلاعات از حملات، سوء استفاده‌ها و کلاهبرداری‌های فضای مجازی از شیوه‌های اطلاعاتی مختلفی بهره می‌برند که بسیاری از آن‌ها براساس

1 Landing Right

زیرساخت‌های شبکه داخلی است. با حضور ابرمنظومه‌ها به نظر می‌رسد، در گام‌های ابتدایی نهادهای نظارتی دانش کافی برای کنترل و نظارت بر شبکه اینترنت ماهواره‌ای را نداشته باشند. هرچند با مرور زمان و پیشرفت فن‌آوری و توافقات احتمالی با اپراتورها احتمالا روش‌هایی برای نظارت بر این شبکه‌ها نیز ایجاد خواهند شد. از سوی دیگر باید به این مسئله نیز اشاره نمود که در شرایط فعلی نیز کاربران حرفه‌ای با دانش کافی می‌توانند بر نظارت و کنترل‌های موجود در شبکه غلبه نمایند.

۴-۶-۱۳. نیاز به مقررات جدید

فن‌آوری ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای نیازمند طیف گسترده‌ای از مقررات جدید است که عمدتا نیازمند شناخت کامل تمام ابعاد آن است. مسئله عدم وجود مقررات و نیاز به مقررات جدید را می‌توان یک نقص برای این فن‌آوری در نظر گرفت. مقررات مورد نیاز برای این فن‌آوری در گام اول شامل مقررات ارایه خدمت اپراتور خارجی و نحوه حضور آن در کشور ثالث است. در گام دوم شامل نحوه استفاده کاربران حقیقی و حقوقی از این فن‌آوری هستند و در نهایت مقررات مربوط به ورود تجهیزات این فن‌آوری می‌باشد. به نظر می‌رسد، مقررات مورد نیاز نباید فن‌آوری را به طور کامل نفی نماید و نباید رهاسازی کامل در مقابل فن‌آوری جدید داشته باشند. تصویب این مقررات قطعا نیازمند دانش و کار مطالعاتی بر روی تمام ابعاد مسئله است.

۴-۷. جمع‌بندی

در این فصل به نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید فن‌آوری ابرمنظومه‌ها و اینترنت ماهواره‌ای به طور کلی و هم از نظر کشور پرداخته شد. همانطور که بررسی شد، این فن‌آوری همچون بسیاری دیگر از فن‌آوری‌های موجود دارای نقاط قوت فنی فراوانی است، نظیر افزایش سرعت انتقال، افزایش قابلیت اطمینان در شبکه، بهبود دسترسی به شبکه ارتباطی و همچنین بهبود پوشش‌دهی نقاط دورافتاده و ارایه خدمات در شرایط بحران از جمله مهم‌ترین دلیل استفاده از فن‌آوری ماهواره بوده است. باتوجه به نقاط قوت، قاعدتا فرصت‌هایی در زمینه بازارهای جدید، خدمات جدید و افزایش اشتغال از طریق توسعه فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای ایجاد خواهد شد.

از سوی دیگر از حیث ورود اپراتور خارجی و عدم کنترل و نظارت بر سرویس اینترنت ماهواره‌ای و همچنین رقابت با اپراتورهای ارایه دهنده خدمت خارجی، نقاط ضعفی را برای فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای می‌توان در نظر گرفت. همچنین باید در نظر داشت که فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای از انواع نظر امنیت سایبری، نظیر، شنود، هک، انجام حملات ناشناس دارای ضعف امنیتی جدی است. این نقاط ضعف منجر به تهدیدهای جدی در حوزه امنیت ملی و نظامی کشورها می‌شود. در کنار مسائل امنیتی این فن‌آوری منجر به تاثیر منفی بر نجوم، افزایش جدی پسماندهای فضایی و کاهش دسترسی به مدارات لئو خواهد شد.

در مجموع به نظر می‌رسد، اکثر نقاط ضعف و تهدید از حیث تسلط اپراتور خارجی بر مسئله اینترنت ماهواره‌ای است و این مسئله با برنامه‌ریزی قابل مدیریت می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای در آینده نزدیک بخش مهمی از زیرساخت اینترنتی تمام کشورها را در برخواهد گرفت لذا به نظر می‌رسد، دیر یا زود این فن‌آوری در تمام نقاط جهان قابل دسترس باشد.

پیشنهاد می‌شود جهت بهره‌برداری از نقاط قوت و فرصت فن‌آوری و مقابله با نقاط ضعف و تهدید، یک برنامه کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت تهیه شود. در برنامه کوتاه مدت و میان مدت شناخت کامل تمام ابعاد حقوقی و فنی فن‌آوری اینترنت ماهواره‌ای، تصویب مقررات جهت بهره‌برداری و مواجهه با آن توصیه می‌گردد. در برنامه بلند مدت ایجاد کنسرسیوم از کشورهای مشترک المنافع و ایجاد این زیرساخت به صورت بومی وکنترل شده می‌تواند در دستور کار باشد.

مراجع

[1] "Cost and capabilities of wireless and satellite technologies, report for broadband stakeholder group," Analysis Mason,26 October 2010

[2] Avilable at: https://www.slideshare.net/junosusi/wireless-sensor-networks-128771146.

[3] http://apps.cept.org/eccnews/oct-2016/.

[4] Sascha Segan, "Exclusive: Here's Where Americans Are Using Starlink's Satellite Internet Servic," PCMag, 26 February 2021, URL: https://www.pcmag.com/news/exclusive-heres-where-americans-are-using-starlinks-satellite-internet

[5] Michale Koziol, "Satellites can be a surprisingly great option for IOT for networks that need to be cheap and low power, consider outer space," IEEE Spectrum, 12 Augest 2021, URL: https://spectrum.ieee.org/satellites-great-option-iot

[6] "Satellite Backhaul: Three Options–Hughes," EITC,: http://www.eitc.org/research-opportunities/5g-and-beyond-mobile-wireless-technology/5G-fixed-wireless-internet-and-satellite-internet/5g-and-satellite-evolution/5g-use-cases-and-satellite-networks-1/satellite-based-cellular-backhaul

[۷] آخرین آمار ضریب نفوذ اینترنت در ایران، خبرگزاری مهر، خرداد ۹۹

[8] J. R. Bhat and S. A. Alqahtani, "6G Ecosystem: Current Status and Future Perspective," IEEE Access, vol. 9, pp. 43134-43167, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3054833.

[9] 3GPP, “Technical Specification Group Radio Access Network; Solutions for NR to support non-terrestrial networks; (Release 16),” 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Report (TR) 38.821, 09-2019, version 0.9.0.

[10] 3GPP, “Technical Specification Group Radio Access Network; Solutions for NR to support non-terrestrial networks; (Release 16),” 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Report (TR) 38.821, 09-2019, version 0.9.0.

[11] "Euroconsult Reports for Ka HTS satellite," Euroconsult, 2019, URL: https://www.euroconsult-ec.com/

[۱۲] گزارش "پیش‌بینی بازار خدمات ماهواره‌ای" مستخرج از پروژه " امکانسجی بهره‌برداری از ماهواره ملی باند Ka و ارایه سرویس IP بر بستر آن" سال ۹۸-۹۹، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، به سفارش سازمان فضایی ایران.

[13] "Legal Aspects Around Satellite Constellations" Froehlich, Annette, ed. Vol. 19. Springer, 2019.

[14] Cao H., Wu L., Chen Y., Su Y., Lei Z., Zhao C., "Analysis on the Security of Satellite Internet," In: Lu W. et al. "Cyber Security CNCERT 2020. Communications

in Computer and Information Science," vol 1299, Springer, Singapore, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4922-3_14

[15] Stu Sjouweman, "Expert Russians Hackers use satellites to hide amazing exploits," Knowbe4, URL: https://blog.knowbe4.com/expert-russians-hackers-use-satellites-to-hide-amazing-exploits

[۱۶] "کلاهبرداری با فروش تجهیزات اینترنت ماهواره‌ای،" خبرگزاری ایسنا، ۱۲ مرداد ۱۴۰۰

[17] "The Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operations,"CONFERS, URL: https://www.satelliteconfers.org/about-us/

[18] Mike Wall, "Why spaceX's starlink satellites caught astronomers off guard," Sapce, 10 January 2020, URL: https://www.space.com/spacex-starlink-satellites-megaconstellation-surprise-astronomers.html

[19] Ian Sample, "Companies' Plans for satellite constellations put night sky at risk," Guradian, 9 January 2020, URL: https://www.theguardian.com/science/2020/jan/09/companies-plans-for-satellite-constellations-put-night-sky-at-risk

[20] Venkatesan, A., Lowenthal, J., Prem, P. et al., " The impact of satellite constellations on space as an ancestral global commons," Nat Astron 4, 1043–1048 2020, https://doi.org/10.1038/s41550-020-01238-3

[21] Donald J. Kessler, Burton G. Cour-Palais, "Collision Frequency of Artificial Satellites," Journal of Geophysical Research, 1978, doi:10.1029/JA083iA06p02637

فصل پنجم: اینترنت ماهواره‌ای و شبکه ملی اطلاعات

۵-۱. مقدمه

بررسی روند بازار نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های پهن‌باند رو به گسترش بوده و پیش‌بینی می‌شود، رشد سریعی نیز در سال‌های آینده داشته باشند. با افزایش تعداد مشترکین، تقاضا برای سیستم‌های پهن‌باند رشد بیشتری خواهد داشت. گسترش هوشمندسازی در صنایع مختلف و از سوی دیگر ظهور فن‌آوری‌هایی همانند اینترنت اشیا و همچنین نرم‌افزاری شدن شبکه‌های ارتباطی و افزایش ارزش اقتصادی و امنیتی داده‌ها موسوم به کلان داده‌ها، موضوعی را به نام انقلاب صنعتی چهارم شکل داده است. از اینرو، اکثر کشورها را به حراست از شبکه‌ها و داده‌های ملی و حفظ حاکمیت بر شبکه‌های ملی واداشته است.

در ایران نیز شبکه ملی اطلاعات با هدف ارایه خدمات مورد نیاز مردم از طریق زیرساخت داخلی و مستقل از بسترهای اینترنت بین‌الملل، براساس مصوبات شورای عالی فضای مجازی از جمله "سند تبیین الزامات شبکه ملی اطلاعات"[۱] و "طرح کلان و معماری شبکه ملی

---

۱ مصوبه جلسه سی و پنجم مورخ ۱۳۹۵/۰۹/۰۲ شورای عالی فضای مجازی

اطلاعات[1]" در حال پیاده‌سازی می‌باشد. این شبکه می‌بایست تا جایی که ممکن است، توسعه یافته بوده و استقلال لازم در بخش‌های مختلف ارتباطات و خدمات فن‌آوری اطلاعات را ایجاد نماید. زیرساخت ارتباطی شبکه ملی اطلاعات غالبا مبتنی بر فیبرنوری می‌باشد که با توجه به گستردگی آن در کشور و ظرفیت بالای انتقال ترافیک مورد توجه بوده است. با توجه به تنوع جغرافیایی کشور و به منظور بالا بردن ضریب اطمینان و ضریب نفوذ دسترسی در شبکه ملی اطلاعات و همچنین به دلیل نیازمندی‌های خدمات آینده و همچنین در برخی موارد مباحث اقتصادی، در آینده صرفا نمی‌توان به فیبر متکی بود و استفاده از ارتباطات ماهواره‌ای اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

ارتباطات ماهواره‌ای مزایای منحصر به فردی دارد که سایر روش‌های ارتباطی قادر به پوشش آن نیستند. از جمله این مزایا می‌توان به امکان پوشش‌دهی در محدوده جغرافیایی وسیع، پوشش کاربران متحرک در سراسر کشور، پوشش نقاط دور از دسترس و صعب‌العبور، توسعه خدمات مورد نیاز به‌صورت بی‌سیم با انعطاف‌پذیری بالا و هزینه رقابتی اشاره نمود. هر چند موضوع ارایه خدمات برای انتقال داده از طریق ماهواره موضوع جدیدی نیست اما با ظهور خدمات نوین مخابراتی نظیر خدمات نسل پنجم و توسعه اینترنت اشیا، لزوم استفاده از ماهواره، تقویت و ایجاد خدمات اقتصادی مبتنی بر آن ضروری خواهد بود. در دهه اخیر به علت محدودیت در پهنای باند ماهواره‌های با ناحیه پوشش وسیع و افزایش درخواست‌ها برای دسترسی به خدمات پهن‌باند ماهواره‌ای، سیستم‌های ماهواره‌ای پرظرفیت به طور فزاینده‌ای مورد توجه صنعت فضایی قرار گرفت و در ادامه سرمایه‌گذاری برای توسعه و راه‌اندازی ابرمنظومه‌های ماهواره‌ای در مدار لئو با سرعت در حال انجام می‌باشد که بتوانند خدمت اینترنت قابل رقابت از لحاظ قیمت و کیفیت و با پهنای باند مناسب برای نیازهای آینده تأمین نمایند. به نظر می‌رسد، با توجه به اسناد بالادستی، اولین گام و یکی از مهم‌ترین روش‌های توسعه این فن‌آوری، تبیین جایگاه مشخصی برای فن‌آوری ارتباطات ماهواره‌ای در سند توسعه شبکه ملی اطلاعات کشور می‌باشد.

---

۱ مصوبه جلسه شصت و ششم مورخ ۱۳۹۹/۰۶/۲۵ شورای عالی فضای مجازی با موضوع "طرح کلان و معماری شبکه ملی اطلاعات" که به استحضار مقام معظم رهبری (مدظله العالی) رسیده است و طی نامه شماره ۱۰۴۴۴۱/۹۹ در تاریخ ۱۳۹۹/۰۷/۱۶ توسط دبیر شورای عالی فضای مجازی ابلاغ شد.

در این فصل به موضوع اینترنت ماهواره‌ای، جایگاه آن در شبکه ملی اطلاعات و مسئله امنیت این شیوه ارتباطی به تفصیل پرداخته خواهد شد. در بخش ابتدایی این فصل ارتباطات ماهواره‌ای در اسناد بالادستی در کشور بررسی می‌شود. سپس وضعیت موجود این ارتباطات را بررسی و دورنمایی از میزان مصرف در سال‌های آتی ارایه خواهد شد. در ادامه الزامات شبکه ملی اطلاعات بررسی می‌شود و مزایای ارتباطات ماهواره‌ای در شبکه ملی اطلاعات را شرح داده خواهد شد. در نهایت در بخش جمع‌بندی راهکارهایی برای بکارگیری اینترنت ماهواره‌ای در شبکه ملی اطلاعات ارایه خواهد شد.

۵-۲. ارتباطات ماهواره‌ای در اسناد بالادستی

بررسی روند بازار نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های پهن‌باند رو به گسترش بوده و پیش‌بینی می‌شود، رشد سریعی نیز در سال‌های آینده داشته باشد. لازم به ذکر است که بخشی از این تقاضا توسط ماهواره برآورده می‌شود. در این میان، اکثر کشورها برای ایجاد ارتباطات پهن‌باند اقدام به تدوین برنامه ملی نموده‌اند و یا در حال برنامه‌ریزی در این زمینه هستند. لذا با بسترسازی مناسب، سیستم‌های پهن‌باند ماهواره‌ای در آینده می‌تواند در کشورهای زیادی مورد استفاده و بهره‌برداری قرار گیرد.

از طرفی دیگر با توجه به اهداف وزارت ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات، توسعه خدمات ارتباطات ماهواره‌ای، از دسته فن‌آوری‌های کلیدی و راهبردی محسوب می‌شود. چرا که "ارتباطات فضایی، انتقال داده‌ها، انتقال صدا و تصویر، ایجاد بستر مناسب برای ارتباطات و همچنین سیاست‌گذاری در زمینه توسعه امکانات و خدمات ارتباطی مذکور، هماهنگ با آخرین پیشرفت‌های علمی، تجربی و فن‌آوری اطلاعات در جهان" از اهداف وزارت ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات ایران ذکر شده است و توسعه خدمات ارتباطات ماهواره‌ای مطابق با آخرین پیشرفت‌های علمی، تجربی و فن‌آوری اطلاعات در جهان می‌باشد و لازم است، وزارت ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات در راستای ایجاد بستر مناسب برای توسعه آن‌ها اقدام نماید. در ضمن به دلیل ماهیت این فن‌آوری و نقش آن در امنیت و اقتدار ملی، حاکمیت در فضا و هم‌چنین با توجه به موقعیت سیاسی و تحریم‌های ظالمانه علیه کشور، امکان قطع خدمات ارتباطی موجود بر روی سایر ماهواره‌ها وجود دارد؛ لذا توسعه این فناوری در کشور ضروری

به نظر می‌رسد. به منظور بهره‌گیری از مزایای ماهواره‌های پهن‌باند در توسعه مخابرات، نیاز به برنامه‌ریزی جدی در این زمینه وجود دارد.

همان‌طور که در جدول ۵-۱- نشان داده شده است، اسناد، قوانین و مقررات قابل توجهی در کشور وجود دارد که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم به توسعه خدمات ارتباطات ماهواره‌ای اشاره داشته است. به نظر می‌رسد، یکی از مهم‌ترین روش‌های توسعه این فن‌آوری تبیین جایگاه مشخصی برای فن‌آوری ماهواره‌ای در سند توسعه شبکه ملی اطلاعات کشور می‌باشد. این موارد بیش از هر چیز ضرورت توسعه این فن‌آوری از نظر قانونی را تبیین می‌نمایند.

جدول ۵-۱- موارد موجود در قوانین و اسناد بالادستی مرتبط با توسعه خدمات ارتباطات ماهواره‌ای

قانون/سند	بخش مربوطه
قانون وظایف و اختیارات وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات[1]	ماده ۸- بند "ب": سیاست‌گذاری برای ساخت، پرتاب و استفاده از ماهواره‌های ملی تحقیقاتی در چارچوب سیاست‌های کلی نظام و با رعایت قوانین و مقررات کشور، از جمله وظایف و اختیارات شورای عالی فضایی است و سازمان فضایی ایران به عنوان دبیر آن ذیل وزارت ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات می‌باشد.
قانون راجع به الحاق ایران به کنوانسیون بین‌المللی اینمارست[2]	هدف سازمان فراهم آوردن بخش فضایی لازم، به منظور بهبود ارتباطات دریایی و در نتیجه کمک به بهبود کمک‌رسانی به کشتی‌های آسیب‌دیده و نجات زندگی در ارتباطات دریایی، کارایی و مدیریت کشتی‌ها، خدمات مکاتباتی عمومی دریایی و امکانات تعیین محل به وسیله بی‌سیم می‌باشد. سازمان تلاش خواهد کرد که در همه مناطقی که به ارتباطات دریایی نیاز باشد خدمات خود را ارایه نماید. سازمان انحصاراً در جهت مقاصد صلح‌آمیز اقدام خواهد کرد.

۱ مشتمل بر چهارده ماده و هفت تبصره در جلسه علنی روز چهارشنبه مورخ نوزدهم آذرماه یک هزار و سی‌صد و هشتاد و دو مجلس شورای اسلامی تصویب و در تاریخ ۱۳۸۲/۹/۱۹ به تأیید شورای نگهبان رسیده است.

۲ ماده واحده - کنوانسیون موجود سازمان بین‌المللی ماهواره‌های دریایی (اینمارست) مشتمل بر یک مقدمه و سی و پنج ماده و موافقت‌نامه اجرایی آن‌مورخ ۱۲ شهریور ۱۳۵۵ (برابر با سپتامبر ۱۹۷۶) تصویب و اجازه تسلیم سند الحاق آن داده می‌شود.

فصل پنجم: اینترنت ماهواره‌ای و شبکه ملی اطلاعات

قانون/سند	بخش مربوطه
قانون موافقت‌نامه مربوط به سازمان بین‌المللی ماهواره‌ای مخابراتی[1]	مخابرات از طریق ماهواره‌ها، به محض عملیاتی شدن درسطح جهان باید بدون تبعیض مورد استفاده کلیه ملل جهان قرار گیرد.
قانون قبول ترتیبات دائمی کنسرسیوم بین‌المللی استفاده از ماهواره‌های مخابراتی[2]	تأمین قسمت فضایی لازم برای سرویس‌های مخابرات بین‌المللی عمومی با بهترین‌کیفیت و قابلیت اطمینان، بر اساس استفاده برابر و عادلانه برای تمام مناطق جهان
قانون مشارکت ایران در کنسرسیوم بین‌المللی استفاده از ماهواره‌های مخابراتی[3]	ماده واحده اجازه دادن به دولت ایران برای مشارکت در کنسرسیوم بین‌المللی استفاده از ماهواره‌های مخابراتی، نماینده دولت در کنسرسیوم را وزارت پست و تلگراف و تلفن انتخاب و معرفی می‌کند.
سند جامع توسعه هوافضای کشور[4]	رشد سریع مخابرات ماهواره‌ای، پیش‌بینی چندین برابر شدن بازار درخواست مشاهده زمین تا سال ۲۰۲۰، تخمین بازار بیش از ۳۰۰۰ میلیارد دلاری هواپیماهای تجاری در بیست سال آینده و حجم عظیم و رو به رشد خدمات هوانوردی که حاکی از رشد قریب به ۵۰ درصدی صنعت هوایی از حیث نسبت درآمد در کیلومتر، در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بوده است، مؤید اهمیت اقتصادی موضوع می‌باشد. علاوه بر آن، دانش‌بنیان بودن بخش بزرگی از فعالیت‌های این بخش و ارزیابی بازار کار حدود یک میلیون نفری آن در منطقه در سال ۲۰۰۹، اهمیت اقتصادی آن را مضاعف نموده است. نقش این بخش در ارتقای اقتدار و امنیت ملی، پیشرانی علم و فن‌آوری در دیگر زمینه‌ها و منافع حاصل از سرریز فن‌آوری‌های توسعه‌یافته یا بومی‌سازی شده به دیگر بخش‌ها نیز از جمله دیگر عواملی هستند که هوافضا را در سطح جهانی، به یک بخش راهبردی تبدیل کرده است. علاوه بر آن در کشور ما، دستاوردهای اخیر به‌ویژه طراحی، ساخت و پرتاب ماهواره‌ها و طراحی و ساخت انواع هواپیماها و دیگر هواگردها سبب افزایش عزت و خودباوری ملی شده و تراز جمهوری اسلامی ایران را در چشم ناظران جهانی ارتقا بخشیده است.

---

۱ قانون موافقت‌نامه مربوط به سازمان بین‌المللی ماهواره‌ای مخابراتی (اصلاحیه موافقت‌نامه اینتل‌ست) که در جلسه علنی روز یکشنبه مورخ بیست و نهم تیر ماه یکهزار و سیصد و هشتاد و در مجلس شورای اسلامی تصویب و در تاریخ ۱۳۸۲/۵/۸ به تائید شورای نگهبان رسیده و طی نامه شماره ۳۴۳۳۵ مورخ ۱۳۸۲/۵/۱۵ واصل گردیده است.

۲ قانون قبول ترتیبات دائمی‌کنسرسیوم بین‌المللی استفاده از ماهواره‌های مخابراتی - مصوب ۲۳ آبان ۱۳۵۱ مجلس شورای ملی و ۶ آذر ۱۳۵۱ مجلس سنا

۳ قانون فوق در تاریخ روز چهارشنبه ۱۳۴۶،۴،۱۴ به تصویب مجلس سنا رسیده است.

۴ مصوبه سند جامع توسعه هوافضای کشور درجلسه ۷۲۸ مورخ ۹۱/۱۰/۱۹ شورای عالی انقلاب فرهنگی و براساس مصوبه شورای ستاد راهبری اجرای نقشه جامع علمی‌کشور و در اجرای بند الف قسمت اول فصل پنجم نقشه جامع علمی‌کشور و مصوبه جلسه ۶۵۷ شورای عالی انقلاب فرهنگی به تصویب رسیده است.

بخش مربوطه	قانون/سند
در بخش چشم‌انداز این سند نیز آمده است که در افق ۱۴۰۴، بخش هوافضای جمهوری اسلامی ایران با توسعه علم و فن‌آوری و انتشار آن، قطبی خواهد بود: • اقتداربخش و مؤثر در امنیت ملی؛ • کارا و قابل اتکا در تأمین نیازهای راهبردی و جاری جامعه ایرانی و جهان؛ • توانمند در ثروت‌آفرینی، طراحی، توسعه و تولید محصولات و ارایه خدمات هوافضایی؛ • الهام بخش و افتخارآفرین در گسترش مرزهای دانش و توسعه فن‌آوری هوافضا؛ • پیشران دیگر حوزه‌های علم، فن‌آوری، صنعت و خدمات؛ • دانش‌بنیان و توانمند در به‌کارگیری آخرین یافته‌های علمی، پژوهشی و فن‌آوری؛ همچنین در بخش ارزش‌های بنیادین این سند نیز به موارد زیر اشاره شده است: • عدالت محوری در توسعه بخش هوافضا و برخورداری از دستاوردهای آن؛ • علم و فن‌آوری کمال‌آفرین، توانمندساز، ثروت‌آفرین و هماهنگ با محیط‌زیست و سلامت معنوی و جسمی و روانی آحاد جامعه؛ در رابطه با سیاست‌های کلان در این سند، موارد زیر عنوان شده است: • مسئولیت‌پذیری در حفظ و ارتقای محیط‌زیست؛ • بهره‌برداری از سرریز فن‌آوری هوافضا در سایر بخش‌ها؛ رعایت اصول پدافند غیرعامل و صیانت از فن‌آوری در توسعه بخش؛ اهداف کلان حوزه فضایی نیز عبارتنداز: • دستیابی به جایگاه اول منطقه در تسخیر فضا و تسلط بر آن از طریق علوم و فن‌آوری‌های مربوطه با استفاده از توانمندی‌های دانشگاه‌ها و مراکز علمی و پژوهشی کشور؛ • طراحی، ساخت، پرتاب و بهره‌برداری از ماهواره در مدار ژئو و دیگر ماهواره‌ها با کاربردهای ارتباطات، سنجش از دور با اولویت فن‌آوری و صنایع داخل و با مشارکت جهان اسلام و همکاری‌های بین‌المللی؛ • دستیابی به خدمات و زیرساخت‌های ارتباطات فضا پایه در جهت تأمین نیازمندی‌های کشوری و منطقه‌ای و جهانی، عمومی و تجاری و سازگار با بستر مخابراتی زمین پایه؛ • همکاری در راستای موقعیت‌یابی، ناوبری و زمان‌سنجی در سطح ملی و منطقه‌ای مطابق با کیفیت جهانی و رقابت‌پذیر. همچنین راهبردهای کلان حوزه فضایی نیز شامل موارد زیر است: • طراحی، ساخت و پرتاب سامانه‌های حامل ماهواره‌های مورد نیاز از جمله ماهواره‌های دارای کپسول زیستی و ماهواره‌های ژئو؛ • ترویج و اشاعه علوم، فن‌آوری‌ها و دستاوردهای فضایی در اقشار مختلف جامعه به ویژه نوجوانان و نخبگان.	

فصل پنجم: اینترنت ماهواره‌ای و شبکه ملی اطلاعات

قانون/سند	بخش مربوطه
قانون عضویت دولت جمهوری اسلامی ایران در برنامه بین‌المللی سامانه کاوش و نجات از طریق ماهواره[1]	پذیرش کنوانسیون و موافقت‌نامه عملیاتی سازمان ماهواره دریایی بین‌المللی (اینمارست) و اجازه دادن به دولت برای عضویت در آن.
سند نقشه جامع علمی کشور[2]	در بخش اهداف کلان نظام علم و فن‌آوری کشور بر موارد زیر تاکید شده است: • دستیابی به جایگاه اول علم و فناوری در جهان اسلام و احراز جایگاه برجسته علمی و الهام بخشی در جهان؛ • دستیابی به توسعه علوم و فناوری‌های نوین و نافع، متناسب با اولویت‌ها و نیازها و مزیت‌های نسبی کشور و انتشار و به‌کارگیری آن‌ها در نهادهای مختلف آموزشی و صنعتی و خدماتی؛ • کمک به ارتقای علم و فناوری در جهان اسلام و احیای موقعیت محوری و تاریخی ایران در فرهنگ و تمدن اسلامی؛ • گسترش همکاری در حوزه‌های علوم و فناوری با مراکز علمی معتبر بین‌المللی. همچنین در بخش اهداف بخشی نظام علم، فن‌آوری و نوآوری کشور نیز موارد زیر بیان شده‌اند: • دستیابی آحاد جامعه به سطح مناسب دانش عمومی و از بین رفتن بی سوادی؛ • کسب دانش طراحی، ساخت و پرتاب ماهواره به مدار زمین‌آهنگ (GEO)، با مشارکت جهان اسلام و همکاری‌های بین‌المللی.
برنامه پنج‌ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۶-۱۴۰۰)[3]	طبق ماده ۴۰، دولت موظف است، به منظور توسعه صنعت هوا و فضا و دستیابی به علوم و فن‌آوری‌های نوین در زمینه مذکور اقدامات زیر را به عمل آورد: الف- بسترسازی و حمایت لازم به منظور ایجاد و توسعه زیرساخت‌ها و صنایع مرتبط با طراحی، ساخت، آزمایش، پرتاب و بهره‌برداری از سامانه‌های فضایی، ماهواره، ماهواره‌بر و ایستگاه‌های زمینی؛ ب- حفظ و نگهداری از موقعیت‌های مداری متعلق به جمهوری اسلامی ایران و پیش‌بینی تمهیدات لازم برای ایجاد زیرساخت‌ها و اجرای طرح‌های (پروژه‌های) ماهواره ملی در راستای حفظ نقاط یاد شده.

---

۱ در جلسه علنی مجلس مورخ ۱۳۹۰/۶/۲۷ به تصویب نمایندگان رسید. پس از وصول مصوبه به شورای نگهبان، این شورا در جلسه ۱۳۹۰/۷/۶ پس از بررسی مصوبه، با اعلام عدم مغایرت آن با موازین شرع و قانون اساسی، نظر خود را طی نامه شماره ۴۳۹۶۹/۳۰/۹۰ مورخ ۱۳۹۰/۷/۶ به مجلس شورای اسلامی‌اعلام کرد.

۲ مصوبه «سند نقشهٔ جامع علمی کشور »که در جلسات ۶۷۱،۶۷۲،۶۷۳ ، ۶۶۸۶۷۰ ، ۶۶۷ ، ۶۶۶ ، ۶۶۴ ، ۶۶۳ ، ۶۶۲، ۶۷۴ ، ۶۷۵، ۶۷۶، ۶۷۷، ۶۷۸ و۶۷۹ مورخ۸۹/۲/۲۱ ، ۸۹/۳/۴، ۸۹/۴/۱۵ ،۸۹/۴/۲۹، ۸۹/۵/۲۶، ۸۹/۷/۶، ۸۹/۷/۲۰ ، ۸۹/۳/۱۸، ۸۹/۹/۱۶، ۸۹/۹/۲، ۸۹/۸/۱۸، ۸۹/۸/۱۱، ۸۹/۸/۴، ۸۹/۷/۲۷، ۸۹/۹/۳۰ و ۸۹/۱۰/۱۴ شورای عالی انقلاب فرهنگی به تصویب رسیده است.

۳ قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه جمهوری اسلامی‌ایران (مصوب ۱۳۹۵/۱۲/۱۴ مجلس شورای اسلامی)

قانون/سند	بخش مربوطه
	طبق ماده ۶۷، به وزارت ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات اجازه داده می‌شود، نسبت به افزایش ظرفیت انتقال (ترانزیت) پهنای باند عبوری از کشور به سی ترابیت برثانیه اقدام نماید و برای ارایه خدمات ماهواره‌ای سنجش از دور و توسعه خدمات و کاربردهای فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات از طریق دستگاه‌های وابسته نسبت به مشارکت و سرمایه‌گذاری با بخش خصوصی و شرکت‌های خارجی در طرح‌های (پروژه‌های) فیبرنوری و طرح‌های (پروژه‌های) زیرساختی ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات، ماهواره‌های سنجشی و مخابراتی و توسعه زیرساخت‌های علوم و فن‌آوری فضایی به استثنای شبکه‌های مادر مخابراتی، امور واگذاری فرکانس و شبکه‌های اصلی تجزیه و مبادلات و مدیریت خدمات پایه پستی و با رعایت سیاست‌های کلی اصل چهل و چهارم قانون اساسی و سیاست‌های کلی برنامه ششم توسعه به‌ویژه مسائل امنیتی در بخش فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات و سیاست‌ها و مصوبات شورای عالی فضای مجازی برای برآورده کردن نیازهای کشور اقدام زیر را به عمل آورد: در توسعه زیرساخت‌های خدمات الکترونیکی در مناطق محروم و روستایی سرمایه‌گذاری نماید، به‌گونه‌ای که امکان ارایه حداقل چهار خدمت الکترونیکی اصلی دولت (سلامت، آموزش، کشاورزی و بانکی) در ۸۰ درصد روستاهای بالای ۲۰ خانوار کشور امکان‌پذیر گردد.
اصول حاکم بر صدور پروانه ارائه خدمات دسترسی ماهواره‌ای (SAP) ۱۳۹۹	ارائه هر گونه خدمات ارتباطی ثابت و سیار از طریق شبکه موضوع پروانه ۳-۱- هر گونه تبادل داده و صوت در شبکه دارنده پروانه باید مطابق ضوابط، مقررات و الزامات حاکمیتی؛ ۳-۲- در تامین پهنای باند اینترنت رعایت الزامات شبکه مادر مخابراتی برای دارنده پروانه الزامی است؛ ۳-۳- هر گونه برقراری ارتباط صوتی در داخل کشور باید در چارچوب مصوبات کمیسیون و شورای عالی امنیت ملی باشد؛ ۳-۴- دارنده پروانه موظف است، ترافیک صوتی بین الملل وارده و صادره خود را بر اساس حدود و تعریف شبکه مادر مخابراتی صرفا از طریق مراکز سوئیچینگ بین‌الملل شرکت ارتباطات زیرساخت و بر اساس مصوبه شماره ۲ جلسه شماره ۲۸۹ مورخ ۱۳۹۷/۱۲/۱۹ صادر و یا وارد کند. ۳-۵- خدمات و پهنای باند ماهواره‌ای صرفا توسط دارنده پروانه و از طریق انعقاد قرارداد با دارنده ماهواره مورد تایید سازمان یا شخص دارای مجوز از سوی وی تامین شود؛ ۳-۶- ایجاد ارتباط مستقیم ایستگاه‌های زمینی ماهواره داخل کشور یا ایستگاه‌های زمینی ماهواره خارج از کشور صرفا با موافقت سازمان و از طریق دروازه‌های بین‌الملل شرکت زیر ساخت مجاز است.
مقررات حاکم بر حقوق سرزمینی ارایه خدمات ارتباطی ماهواره‌ای در جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۸)	با رشد فناوری ارتباطات فضایی، طیف وسیعی از خدمات ارتباطی و فناوری اطلاعات توسط شبکه‌های ماهواره‌ای قابل ارایه شده است. از آنجا که تداوم ارایه و توسعه تنوع خدمات ارتباطی و فناوری اطلاعات قابل ارایه از طریق ارتباطات فضایی در کشور مستلزم رعایت الزامات مقرراتی خاصی از سوی دارندگان شبکه‌های ماهواره‌ای می‌باشد، لذا سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی پیش‌نویس "مقررات حاکم بر حقوق سرزمینی ارایه خدمات ماهواره‌ای در جمهوری اسلامی ایران" را با هدف ایجاد ضمانت اجرایی برای موارد زیر و جهت طرح در کمیسیون تنظیم مقررات ارتباطات تدوین کرد: ۱-ساماندهی ارایه خدمات ماهواره‌ای توسط دارندگان مجوز تاسیس و بهره‌برداری از شبکه ماهواره‌ای صادر شده از سوی یک کشور خارجی عضو ITU، پس از احراز شرایط تعیین شده؛ ۲-تامین نیاز زیرساخت ارتباطی کشور در کنار زیرساخت‌های موجود به ویژه افزایش توسعه کشوری ارتباطات با ایجاد زیرساخت فضایی در مناطق نیازمند تقویت زیرساخت ارتباطی زمینی؛

قانون/سند	بخش مربوطه
	۳-تامین ارتباطات مطمئن مشترکین از طریق ارتباطات فضایی به صورت مقرون به صرفه، پایدار و مورد اطمینان تحت شرایط فنی و تجاری مطلوب.
کلیات و چارچوب حاکم بر صدور پروانه اپراتورهای ماهواره‌ای (۱۳۹۶)	کمیسیون تنظیم مقررات ارتباطات در جلسه شماره ۲۶۲ مورخ ۱۳۹۶/۰۵/۲۲، به منظور توسعه و انسجام فعالیت‌های بخش خصوصی در استفاده از ماهواره‌ها، حفظ و توسعه امتیازات مدار- فرکانسی، تسریع در توسعه خدمات ماهواره‌ای در سراسر کشور از طریق اپراتور داخلی ماهواره‌ای و حرکت در جهت حذف وابستگی کشور در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای و رشد و اعتلای هرچه بیشتر کشور در این راستا، پیشنهاد سازمان در خصوص کلیات و چارچوب حاکم بر صدور پروانه اپراتورهای ماهواره‌ای را بررسی و آن را به شرح زیر تصویب کرد. خدمات موضوع پروانه عبارت است از توزیع و فروش پهنای باند ماهواره‌های در اختیار، ایجاد شبکه‌های اختصاصی و ارائه هرگونه خدمات ارتباطی و انتقال داده از قبیل خدمات ثابت و سیار ماهواره‌ای، ایجاد دسترسی به اینترنت پر سرعت، ایجاد دسترسی به شبکه ملی اطلاعات و خدمات مبتنی بر آن، ارائه خدمات صوتی، تصویری، متنی و داده‌ای و انواع خدمات محتوایی و ارزش افزوده، ارائه خدمات پخش همگانی ماهواره‌ای در چارچوب ضوابط قانونی و مقرراتی کشور، بر روی شبکه موضوع پروانه. تبصره ۱: دارنده پروانه در صورت وجود متقاضی دریافت خدمات در داخل کشور، باید حداقل هشتاد درصد (۸۰٪) نیاز بازار داخلی را به صورت عمده‌فروشی برای دارندگان پروانه ارائه خدمات انتقال داده از طریق ارتباطات ماهواره‌ای (SAP[1]) و دیگر ارائه‌کنندگان خدمات ماهواره‌ای مجاز تأمین کند. در هرصورت سهم اپراتور ماهواره از بازار داخلی خرده‌فروشی داخلی بیش از بیست درصد (۲۰٪) نخواهد بود. تبصره ۲: ارائه خدمات خرده فروشی در داخل کشور تابع مفاد پروانه خدمات انتقال داده از طریق ارتباطات ماهواره‌ای (SAP) و یا پروانه‌های جایگزین آن می‌باشد. تبصره ۳: دارنده پروانه می‌تواند با رعایت قوانین و مقررات داخلی، ملاحظات حاکمیتی که در زمان صدور پروانه تعیین و به دارنده پروانه اعلام خواهد شد و همچنین رعایت مقررات بین‌المللی از جمله مقررات اتحادیه جهانی مخابرات (ITU) نسبت به ارائه خدمات موضوع پروانه خود به خارج از مرزهای جغرافیایی کشور اقدام کند. در هر زمانی ارائه خدمات به داخل کشور دارای اولویت می‌باشد.

۵-۳. پیش‌بینی وضعیت آینده ارتباطات ماهواره‌ای

همانطور که در فصل چهارم گفته شد، با استفاده از گزارش‌های بین‌المللی می‌توان جمع ظرفیت مورد نیاز خدمات ماهواره‌ای بر روی ماهواره‌های پرظرفیت (HTS) تا سال ۲۰۴۰ در

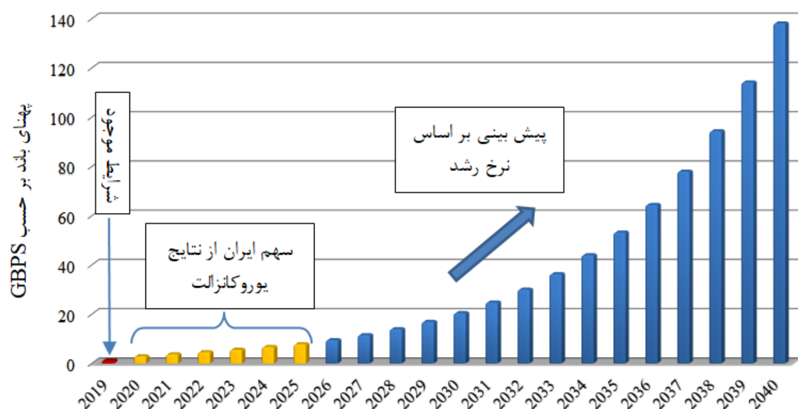
1 Satellite Access Provider

کشور ایران را به صورت شکل ۵-۱- پیش‌بینی نمود. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، در شرایط فعلی (سال ۲۰۱۹) ظرفیتی در حدود 1.5 Gbps برای خدمات ماهواره‌ای مورد نیاز است. با در نظر گرفتن سهم ایران از نتایج گزارشات یوروکانزالت، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ ظرفیت مصرفی ایران در بخش خدمات ارتباطات ماهواره‌ای به حدود 7.92 Gbps برسد. در صورت رشد مشابه در سال‌های پس از ۲۰۲۵ تا سال ۲۰۴۰، ایران به پهنای باندی در حدود 138 Gbps در ۴۰ سال آینده نیاز خواهد داشت.

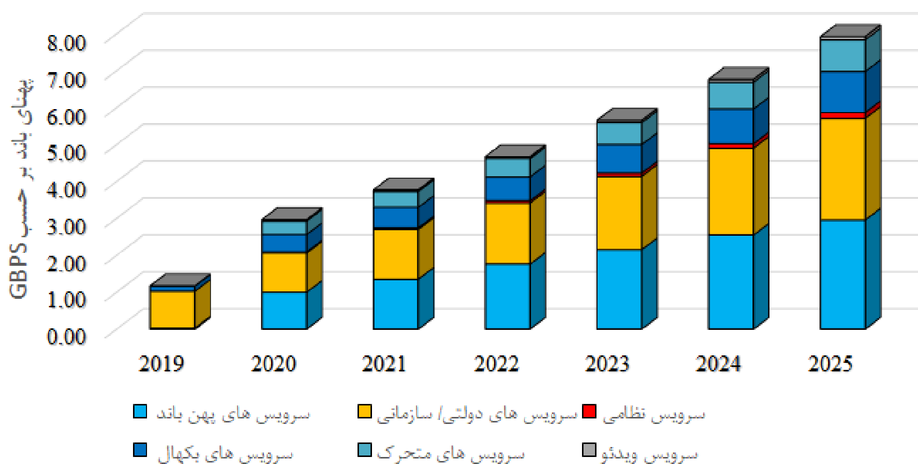
شکل ۵-۲- ظرفیت تفکیکی این شش خدمت را تا سال ۲۰۲۵ براساس سهم ایران از گزارش منطقه‌ای یوروکانزالت نشان می‌دهد. در این شکل ظرفیت سال ۲۰۱۹ (شرایط فعلی) کشور بر روی ماهواره‌های ژئو نشان داده شده است. براساس پیش‌بینی یوروکانزالت، در کشورهای در حال توسعه و مناطقی نظیر خاورمیانه و آفریقا، سهم خدمات دولتی/ سازمانی بسیار نزدیک به سهم خدمت پهن‌باند می‌باشد. این در حالی است که در مناطق توسعه‌یافته نظیر اروپا و آمریکای شمالی، خدمت پهن‌باند بیش از ۸۰ درصد ظرفیت ماهواره‌های باند Ka را اشغال می‌نماید. به عبارت دیگر متقاضیان مصرف ظرفیت در کشورهای در حال توسعه، اندکی متفاوت از کشورهای توسعه‌یافته می‌باشند. این شرایط در وضع موجود (سال ۲۰۱۹) کشور ایران نیز دیده می‌شود. همانطور که در شکل ۵-۲ دیده می‌شود، در حال حاضر بیشتر ظرفیت در مراکز دولتی سازمانی نظیر شبکه بانکی و شرکت‌های نفت و گاز مصرف می‌گردد و سهم خدمات پهن‌باند بسیار ناچیز است.

باتوجه به توضیحات فوق، خدمت پهن‌باند را به دو صورت مختلف باید بررسی نمود. روش اول در نظر گرفتن نیاز بالقوه خدمت پهن‌باند در کشور ایران با توجه به شرایط جمعیتی و سهم ۶ درصد ماهواره از ارتباطات است. در این شرایط نیاز خدمت پهن‌باند باتوجه به تغییرات جمعیتی کشور در سال۲۰۲۰ در حدود 27 Gbps می‌باشد. باتوجه به رشد جمعیت، این خدمت به تنهایی نیاز به ظرفیت 285 Gbps تا سال ۲۰۴۰ خواهد داشت.

در روش دوم، سهم ایران از گزارشات یوروکانزالت محاسبه شده است و به نوعی بازار احتمالی خدمات پهن‌باند در سال‌های آتی با توجه به در حال توسعه بودن کشور محاسبه شده است. تمامی این شش خدمت به همراه پیش‌بینی ظرفیت مورد نیاز آن‌ها تا سال ۲۰۳۵ به تفصیل در جدول ۵-۲- نشان داده شده است.



شکل ۵-۱. ظرفیت مورد نیاز ایران (Gbps) بر اساس داده‌های یوروکانزالت تا سال ۲۰۲۵ و پیش‌بینی رشد براساس نرخ ثابت تا سال ۲۰۴۰ [1]



شکل ۵-۲- ظرفیت ایران (Gbps) بر اساس داده‌های یوروکانزالت تا سال ۲۰۲۵ به تفکیک هر خدمت [1]

جدول ۵-۲- خدمات مربوطه به همراه پیش‌بینی ظرفیت مورد نیاز آن‌ها تا سال ۲۰۳۵ [1]

	۲۰۱۹	۲۰۲۱	۲۰۲۳	۲۰۲۵	۲۰۲۷	۲۰۲۹	۲۰۳۱	۲۰۳۳	۲۰۳۵
خدمت پهن‌باند	۰٫۰۳	۱	۲	۳	۴	۶	۹	۱۴	۲۰
خدمت دولتی/ سازمانی	۱٫۰۰	۱٫۳۵	۱٫۹۹	۲٫۷۵	۴٫۰۳	۵٫۹۰	۸٫۶۴	۱۲٫۶۵	۱۸٫۵۲
خدمت نظامی	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۱۶	۰٫۲۳	۰٫۳۴	۰٫۵۰	۰٫۷۳	۱٫۰۷
خدمت بکهال	۰٫۱۴	۰٫۵۶	۰٫۷۷	۱٫۱۱	۱٫۶۳	۲٫۳۸	۳٫۴۹	۵٫۱۱	۷٫۴۸
خدمت متحرک	۰٫۰۰۴	۰٫۴۳	۰٫۵۹	۰٫۸۶	۱٫۲۵	۱٫۸۳	۲٫۶۸	۳٫۹۳	۵٫۷۵
خدمت ویدیو	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۱۳	۰٫۱۸	۰٫۲۷	۰٫۳۹	۰٫۵۸
جمع	۱٫۱۷	۳٫۷۷	۵٫۶۵	۷٫۹۲	۱۱٫۵۹	۱۶٫۹۸	۲۴٫۸۵	۳۶٫۹۳	۵۳٫۲۸

به طور اجمالی می‌توان گفت که طبق محاسبات صورت گرفته، پیش‌بینی می‌شود، ظرفیت ماهواره‌ای مورد نیاز برای سال ۲۰۲۵ در کشور ایران برای خدمت پهن‌باند برابر با خدمت دولتی/ سازمانی معادل ۲٫۷۵ گیگابیت بر ثانیه است. در این سال با توجه به توسعه خدمات تلفن همراه و نیاز به ارایه خدمت بکهالینگ، ظرفیت پیش‌بینی شده برای این خدمت روی ماهواره برابر با ۱٫۱۹ گیگابیت بر ثانیه می‌باشد. همچنین مجموع ظرفیت مورد نیاز برای کل خدمات ماهواره‌ای برابر ۸ گیگابیت بر ثانیه خواهد بود. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که برای سال ۲۰۴۰ بعد از خدمات پهن‌باند (۴۸٫۳ گیگابیت بر ثانیه)، دولتی/سازمانی (۴۸٫۳ گیگابیت بر ثانیه) و همچنین بکهال (۱۹٫۴ گیگابیت بر ثانیه)، خدمات متحرک نیز ظرفیتی معادل با ۱۴٫۹۲ گیگابیت بر ثانیه بر روی ماهواره نیاز خواهند داشت. با توجه به رشد فزآینده نیاز به خدمات ارتباطات ماهواره‌ای در کشور در سال‌های آتی نمی‌توان از فن‌آوری ماهواره چشم‌پوشی کرد و باید نقشی جدی برای این حجم از ارتباطات در شبکه ملی اطلاعات کشور قائل شد.

۵-۴. الزامات شبکه ملی اطلاعات و نقش ماهواره

مهم‌ترین سند الزامات شبکه ملی اطلاعات، مصوبه جلسه سی و پنجم مورخ ۱۳۹۵/۰۹/۲۰ شورای عالی فضای مجازی می‌باشد. در این مصوبه ضمن تعریف شبکه ملی اطلاعات، الزامات آن را در بند ۳ در شش عنوان به شرح زیر مطرح می‌نماید:

۱- شبکه‌ای متشکل از زیرساخت‌های ارتباطی با مدیریت مستقل کاملا داخلی

۲- شبکه‌ای کاملا مستقل و حفاظت‌شده نسبت به دیگر شبکه‌ها (از جمله اینترنت) با امکان تعامل مدیریت شده با آنها

۳- شبکه‌ای با امکان عرضه انواع محتوا و خدمات ارتباطی سراسری برای آحاد مردم با تضمین کیفیت از جمله قابلیت تحرک

۴- شبکه‌ای با قابلیت عرضه انواع خدمات امن اعم از رمزنگاری و امضای دیجیتالی به کلیه کاربران

۵- شبکه‌ای با قابلیت برقراری ارتباطات امن و پایدار میان دستگاه‌ها و مراکز حیاتی کشور

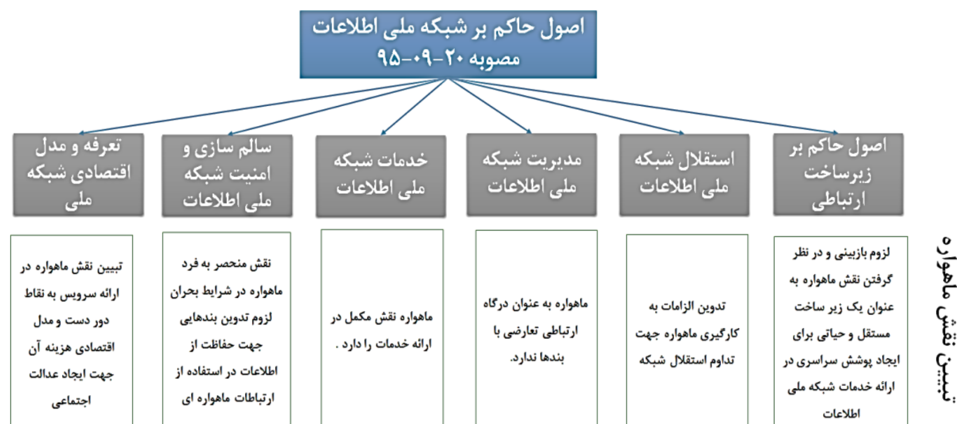
۶- شبکه‌ای پرظرفیت، پهن‌باند و با تعرفه رقابتی شامل مراکز داده و میزبانی داخلی

به نظر می‌رسد، اکثر این الزامات با حضور کنترل شده و دقیق فن‌آوری‌های ماهواره‌ای قابل تحقق می‌باشد.

براساس این الزامات اصول حاکم بر شبکه ملی اطلاعات در شش محور "زیرساخت"،" استقلال"، "مدیریت شبکه"، "خدمات شبکه"، "سالم‌سازی و امنیت" و "تعرفه و مدل اقتصادی" طرح‌ریزی شده است. در سند مذکور اشاره صریحی به نوع فن‌آوری ارتباطی به ویژه ارتباطات ماهواره‌ای به طور جداگانه نشده است. در شکل ۵-۳- نقشی که در خصوص ارتباطات ماهواره‌ای در هریک از اصول باید تبیین شود، آورده شده است. باتوجه به جایگاه و اهمیت ارتباطات ماهواره‌ای در شرایط فعلی و آینده به نظر می‌رسد، برخی از بندهای این مصوبه باید مورد بازبینی قرار گیرد.

جدول ۵-۳- به صورت بند به بند نقش مکمل یا احیانا متعارض ماهواره را در اهداف و الزامات شبکه ملی اطلاعات را نشان می‌دهد. این جدول بر اساس سه سند " تعریف و

الزامات حاکم بر تحقق شبکه ملی اطلاعات[1]"، " تبیین الزامات شبکه ملی اطلاعات[2]" و " طرح کلان و معماری شبکه ملی اطلاعات[3]" نگارش شده است. در مجموع می‌توان گفت ماهواره در اکثر مواقع نقش مکمل در دست‌یابی به اهداف و الزامات شبکه ملی اطلاعات را دارد و در بسیاری از بندها مهم‌ترین روش دستیابی به اهداف است.



شکل ۵-۳- اصول حاکم بر شبکه ملی اطلاعات و نقش ماهواره در هر بخش

---

۱ مصوبات جلسه پانزدهم مورخ ۳۰/۱۰/۱۳۹۲ شورای عالی فضای مجازی با موضوع "تعریف و الزامات حاکم بر تحقق شبکه ملی اطلاعات و بودجه سال ۱۳۹۳ مرکز ملی فضای مجازی" که به استحضار مقام معظم رهبری (مدظله العالی) رسیده است، طی نامه شماره ۱۰۲۴۶۸/۹۲/ش در تاریخ ۱۲/۱۱/۱۳۹۲ توسط دبیر شورای عالی فضای مجازی ابلاغ شد.

۲ مصوبه جلسه سی و پنجم مورخ ۲۰/۰۹/۱۳۹۵ شورای عالی فضای مجازی با موضوع "تبیین الزامات شبکه ملی اطلاعات" که به استحضار مقام معظم رهبری (مدظله العالی) رسیده است، طی نامه شماره ۱۰۲۵۵۰/۹۶در تاریخ ۲۷/۰۶/۱۳۹۶ توسط دبیر شورای عالی فضای مجازی ابلاغ شد.

۳ مصوبه جلسه شصت و ششم مورخ ۲۵/۰۶/۱۳۹۹ شورای عالی فضای مجازی با موضوع "طرح کلان و معماری شبکه ملی اطلاعات" که به استحضار مقام معظم رهبری (مدظله العالی) رسیده است، طی نامه شماره ۱۰۴۴۴۱/۹۹ در تاریخ ۱۶/۰۷/۱۳۹۹ توسط دبیر شورای عالی فضای مجازی ابلاغ شد.

جدول ۵-۳- مهم‌ترین بندهای سند الزامات شبکه ملی اطلاعات و سند طرح کلان معماری شبکه اطلاعات مرتبط با فن‌آوری ماهواره

	اصل موضوعی	شماره بند	موضوع	نقش ماهواره در سند
سند الزامات شبکه ملی اطلاعات	اصول حاکم بر زیرساخت شبکه ملی اطلاعات	بند ۴-۱-۳	خدمات خارجی صرفا از دروازه ایمن مرزی باشد	لزوم باز تعریف نقش ماهواره
		بند ۴-۱-۵	خدمات دو سر داخل در کشور مسیریابی شود	تعارض با نقش ماهواره غیربومی به عنوان تنها راه پوشش نقاط دورافتاده
		بند ۴-۱-۷	عدالت اجتماعی در خدمات پهن باند شبکه ملی	نقش کلیدی و حیاتی ماهواره در تحقق این بند
		بند ۴-۱-۸	دسترسی متناسب با نیازهای بومی	نقش مکمل و حیاتی ماهواره در تحقق این بند
	استقلال شبکه ملی اطلاعات	بند ۴-۲-۲	عدم اتکای شبکه به غیر از خود	تعارض با نقش ماهواره غیربومی به عنوان تنها راه پوشش نقاط دورافتاده
	سالم‌سازی و امنیت شبکه ملی اطلاعات	بند ۴-۵-۱	حفاظت و مدیریت تعاملات	لزوم تدوین بندی در زمینه حفاظت اطلاعات منتقل شده با ماهواره
	تعرفه و مدل اقتصادی	بند ۴-۶-۲	تعرفه خدمات شبکه ملی اطلاعات	لزوم شناسایی ماهواره به عنوان تنها راه ارتباطی برای برخی نقاط در تدوین تعرفه

نقش ماهواره در سند	موضوع	شماره بند	اصل موضوعی	
برطبق بررسی‌های بین‌المللی ماهواره ملزوم قطعی تحقق این هدف است.	پوشش ۱۰۰ درصد جمعیت کشور برای دسترسی پهن‌باند سیار با سرعت ۱۰ مگابیت بر ثانیه	بند ۲-۲-۱-۱-	اهداف عملیاتی شبکه ملی اطلاعات	سند طرح کلان و معماری شبکه ملی اطلاعات
بسیاری از سازمان‌های تجاری مانند سکوهای نفتی تنها راه ارتباطی‌شان ماهواره است. در بسیاری از سازمان‌ها ماهواره نقش مکمل دارد	دسترسی سازمان‌ها و مراکز آموزشی پژوهشی، کسب و کارها و کاربران تجاری به سرعت صد مگابیت بر ثانیه	بند ۲-۲-۱-۷-		
نقش منحصر به فرد ماهواره در شرایط بحران و قطعی سامانه‌های زمینی	مصون‌سازی، کاهش آسیب‌پذیری و افزایش پایداری و تاب آوری امنیتی و دفاعی شبکه ملی اطلاعات	بند ۲-۲-۱-۲۰-		
در بسیاری از نقاط بدون ماهواره قابل تحقق نیست	استقرار سکوهای ارایه خدمات الکترونیک برای آحاد مردم	بند ۲-۲-۲-۲-	اهداف عملیاتی خدمات کاربری	
نقش کلیدی ماهواره در تحقق این هدف	جذب ۳۰ درصد کاربران منطقه غرب آسیا	بند ۲-۲-۳- -۱۰		
نقش محوری ماهواره در تحقق این هدف	ارتقا توان دستگاه‌های امنیتی در اشراف اطلاعاتی و شناسایی	بند ۲-۲-۴-۲-	اهداف عملیاتی سالم سازی محتوا و امنیت خدمات	

۵-۵. برآورده کردن الزامات شبکه ملی اطلاعات

در کنار مزایای مهم و اساسی فن‌آوری ماهواره و منظومه‌های ماهواره‌ای، این ساختارها در شرایط فعلی با برخی از الزامات شبکه ملی اطلاعات در تعارض هستند و باید تمهیداتی برای استفاده از این فن‌آوری در شبکه ملی اطلاعات در نظر گرفته شود. جهت برآورده کردن الزامات شبکه ملی اطلاعات می‌توان اقدامات زیر را بررسی و دنبال نمود که به صورت خلاصه در جدول ۵-۴- آورده شده است:

جدول ۵-۴- روش‌های پیشنهادی برای برآورده کردن الزامات شبکه ملی اطلاعات

روش پیشنهادی	مزایا	معایب
اجاره فضای فرکانسی از ماهواره‌های مدار ژئو با راه‌اندازی دروازه در داخل کشور نظیر خدماتی که شرکت‌های SAP ارایه می‌نمایند.	• وجود تنوع در ماهواره‌های مدار ژئو با تامین‌کنندگان مختلف • پیاده‌سازی سریع • انعطاف‌پذیری بالا به دلیل امکان استفاده از تامین‌کنندگان و ماهواره‌های مختلف • وجود زیرساخت‌های لازم در داخل کشور شامل هاب‌ها و تله‌پورت‌های ماهواره‌ای	۱- عدم ارایه خدمات توسط برخی تامین‌کنندگان در شرایط تحریم ۲-عدم دسترسی و مدیریت ترانسپوندر و ماهواره ۳-ریسک نوسانات نرخ ارز به دلیل تامین ارزی پهنای‌باند
مشارکت در تامین ماهواره (نظیر ماهواره بدر ۵) و ارایه خدمات از طریق ترانسپوندرهایی که مدیریت آن در اختیار یک مجموعه داخلی باشد.	• در اختیار داشتن کامل ترانسپوندر و مدیریت آن • کاهش ریسک نوسانات نرخ ارز • گامی در جهت افزایش توانایی در رابطه با ایجاد اپراتور ماهواره‌ای داخلی	نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه محدودیت در مدیریت منابع ماهواره به دلیل عدم مالکیت کامل
مذاکره با اپراتورهای ماهواره‌های پرظرفیت مدار ژئو و نصب و راه‌اندازی دروازه اختصاصی در پرتوهای دروازه خارج از کشور و انتقال ترافیک از طریق فیبرهای اختصاصی و دروازه‌های بین‌المللی شبکه ملی اطلاعات و یا ارتباط نقطه به نقطه ماهواره‌ای	امکان ارایه خدمات با نرخ بیت بالاتر و هزینه کمتر امکان ارایه خدمات متنوع‌تر	۱. نیاز به نصب دروازه خارج از کشور و در محل تامین کننده اصلی ۲. تاخیر بالاتر ارتباط به دلیل اینکه دروازه خارج از کشور قرار دارد. ۳. وابستگی به زیرساخت تامین کننده اصلی و احتمال بروز مشکل در شرایط تحریم
مذاکره با اپراتورهای منظومه‌های ماهواره‌ای غیرژئو جهت ایجاد دروازه در داخل کشور و	• امکان ایجاد شبکه ارتباطی با مدیریت و کنترل داخلی	۱. عدم وجود اطلاعات دقیق در خصوص نحوه و مسیر

روش پیشنهادی	مزایا	معایب
یا حداقل نصب دروازه اختصاصی در یکی از نقاط در نظر گرفته شده برای دروازه و انتقال ترافیک از طریق فیبر اختصاصی و یا ارتباط نقطه به نقطه ماهواره‌ای	• استفاده از قابلیت‌های ارتباطات ماهواره‌ای منظومه‌ها از قبیل پهنای‌باند بالاتر، هزینه و تاخیر کمتر • کاهش تهدیدات مربوط به استفاده غیر مجاز از ارتباطات ماهواره‌ای منظومه‌ها	انتقال داده در این شبکه و امکان دسترسی توسط تامین‌کننده اصلی ۲. فراهم شدن شرایط برای استفاده غیر مجاز با ورود تجهیزات مربوطه
ایجاد اپراتور ملی و قرار دادن ماهواره در مدار ژئو با مالکیت جمهوری اسلامی	این روش مطمئن‌ترین حالت ممکن برای ارایه خدمات ارتباطات ماهواره‌ای در بخشی از زیرساخت شبکه ملی اطلاعات می‌باشد.	سرمایه‌گذاری بالا و زمان چند ساله برای راه‌اندازی از معایب اصلی این مدل است.
ایجاد اپراتور ملی و راه‌اندازی منظومه ماهواره‌ای در مدار غیرژئو	مانند روش قبلی برای اطمینان از بهره‌برداری از منظومه‌های ماهواره‌ای بهترین گزینه در اختیار داشتن کامل منظومه می‌باشد.	سرمایه‌گذاری بسیار بالا و زمان طولانی محقق شدن این منظومه معایب اصلی آن است.

با توجه به بندهای زیر در لزوم توسعه در سند شبکه ملی اطلاعات و اثرات توسعه فن‌آوری ماهواره، این فن‌آوری می‌توانند نقش بسزایی در محقق شدن این بندها داشته باشد، نمی‌توان از این فن‌آوری چشم‌پوشی کرد.

- بند ۱-۳- فرصت‌سازی
- بند ۱-۹- توسعه سبز و سلامت محور
- بند ۲-۱-۱- ارتقاء کیفیت زندگی
- بند ۲-۱-۳- عدالت اجتماعی و امنیت عمومی
- ۲-۱-۴- استقرار نظام جامع فراگیر در سطح ملی برای امن‌سازی، پایدارسازی و تداوم ارایه خدمات زیرساخت‌های حیاتی و حساس و مهم
- ۲-۲-۱-۱- پوشش ۸۰ درصدی دسترسی پهن‌باند ثابت خانوارها با سرعت دسترسی متوسط ۲۵ مگا بیت بر ثانیه
- ۲-۲-۲-۱- استقرار کامل سکوهای ارایه خدمات الکترونیکی
- ۲-۲-۳-۱۵- تامین نیاز کشور به سکوهای آموزشی
- و در جدول نگاشت نهاد
  - ایجاد پوشش سراسری برای دسترسی تمامی شهرها و روستاهای بالای بیست خانوار به شبکه ملی اطلاعات با کیفیت مطلوب

- ایجاد سامانه‌ها و سازکارهای لازم برای ارایه خدمات اینترنت در شرایط خاص و بحران

عدم توجه به شکل‌گیری و توسعه این خدمات در کشور باعث از دست رفتن حاکمیت در فضا، از دست رفتن حق و حقوق کشور در حوزه فضایی (همچون نقطه مداری) و وجود تهدید قطع ارتباطات حساس در زمان بحران از طرف بیگانگان، تضعیف غرور ملی و ایجاد خلل در ارتباطات می‌شود. همچنین توسعه این فناوری دارای اثرات گسترده‌ای در ابعاد مختلف (همچون اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و غیره) می‌باشد.

۵-۶. جمع‌بندی و ارایه راهکار

در این فصل به بررسی ارتباطات ماهواره‌ای در شرایط فعلی، جایگاه آن در اسناد بالادستی و همچنین وضعیت ترافیک ارتباطات ماهواره‌ای در آینده کشور ایران پرداخته شد. همچنین با بررسی الزامات شبکه ملی اطلاعات جایگاه ارتباطات ماهواره‌ای در این شبکه را تبیین نمودیم. از سوی دیگر تهدیدات امنیتی مرتبط با این فن‌آوری بررسی شد. می‌توان گفت نقش ماهواره در تکمیل ارتباطات زمینی در نقاط دورافتاده و همچنین درکاربردهایی نظیر ارتباطات در حال حرکت، یک نقش منحصر به فرد و بدون جایگزین است و بدون حضور فن‌آوری ماهواره امکان توسعه فراگیر شبکه ملی اطلاعات مبتنی بر عدالت اجتماعی میسر نیست. از طرف دیگر باتوجه به مباحث مطرح شده در رابطه با برخی دیگر از الزامات شبکه ملی اطلاعات، راهکارهای استفاده از ارتباطات ماهواره‌ای در شبکه ملی اطلاعات را باید به سه بخش زمانی به صورت کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت به شرح زیر تقسیم نمود:

- **برنامه کوتاه مدت:**

برای تکمیل شبکه ملی اطلاعات و ارایه خدمات به تمامی نقاط کشور (علی‌الخصوص نقاط دورافتاده) و همچنین ارایه انواع خدمات مورد نیاز شامل ارتباطات در حال حرکت، ارتباطات در بحران، ارتباطات پشتیبان و تمام موارد ذکر شده در گزارش، راهکار کوتاه مدت استفاده از منابع فرکانسی و ماهواره‌های موجود در مدار و اجاره فضای فرکانسی از این ماهواره‌ها با نصب دروازه در داخل کشور می‌باشد. این روش در حال حاضر توسط شرکت‌های SAP برای ارایه خدمات به مشتریان خود در حال استفاده است.

- **برنامه میان مدت:**

برای استفاده مناسب از تمامی تکنولوژی‌های موجود ارتباطات ماهواره‌ای، در میان مدت می‌توان اقدامات زیر را انجام داد:

- مشارکت در تأمین ماهواره مدار ژئو (مانند ماهواره بدر ۵) با مدیریت ترانسپوندرها توسط ایران
- اقدام به تأمین یا پرتاب ماهواره مدار ژئو در نقطه مداری متعلق به جمهوری اسلامی ایران و با مالکیت ایران
- اقدام به تأمین ماهواره در نقطه مداری مناسب (که می‌تواند متعلق به ایران نباشد) با مالکیت ایران
- اقدام به رایزنی با تأمین‌کنندگان ماهواره‌های پرظرفیت و منظومه‌های غیرژئو برای پوشش‌دهی دروازه در داخل ایران

- **برنامه بلند مدت:**

برای برآورده کردن کامل الزامات شبکه ملی اطلاعات در بلند مدت می‌توان برنامه‌های زیر را دنبال کرد:

- ثبت نقاط مداری و تأمین و پرتاب چند ماهواره مدار ژئو برای بر طرف کردن نیازهای کامل ارتباطات ماهواره‌ای داخلی با در نظر گرفتن مسائل افزونگی
- اقدام به مشارکت در ایجاد منظومه‌های ماهواره‌ای غیرژئو با کشورهایی که دارای روابط پایدار با آنها هستیم.
- اقدام به ایجاد منظومه ماهواره‌ای مستقل برای ایران با بازاریابی جهانی

در نهایت می‌توان گفت، توسعه خدمات ارتباطات ماهواره‌ای مطابق با آخرین پیشرفت‌های علمی، تجربی و فن‌آوری اطلاعات در جهان می‌باشد و لازم است که وزارت ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات در راستای ایجاد بستر مناسب برای توسعه آن‌ها اقدام نماید. در ضمن به دلیل ماهیت این فن‌آوری و نقش آن در امنیت و اقتدار ملی، حاکمیت در فضا و همچنین با توجه به موقعیت سیاسی و تحریم‌های ظالمانه علیه کشور، امکان قطع خدمات ارتباطی موجود بر روی سایر ماهواره‌ها وجود دارد؛ لذا توسعه این فناوری در کشور ضروری به نظر

می‌رسد. به منظور بهره‌گیری از مزایای ماهواره‌های پهن‌باند در توسعه مخابرات، نیاز به برنامه‌ریزی جدی در این زمینه وجود دارد.

مراجع

[۱] گزارش "پیش‌بینی بازار خدمات ماهواره‌ای" مستخرج از پروژه " امکان‌سنجی بهره‌برداری از ماهواره ملی باند Ka و ارایه سرویس IP بر بستر آن" سال ۹۸-۹۹، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، به سفارش سازمان فضایی ایران

[2] Euroconsult Reports for Ka HTS satellite 2019, Avilable at: https://www.euroconsult-ec.com/

علائم اختصاری

API	Advance Publication Information
BSS	Broadcast satellite service
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CASIC	China Aerospace Science and Industry Corporation
CapEx	Capital Expenditures
CONFERS	Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operation
COPUOS	Committee on the Peaceful Uses of Outer Space
COTS	Commercial Orbital Transportation Services
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DDOS	Distributed Denial-of-Service
DTH	Direct to the Home
EIRP	Equivalent Isotopically Radiated Power
eMBB	enhanced Mobile Broadband
EPFD	Equivalent Power Flux Density
ESA	European Space Agency
FCC	Federal Communication Commission
FSB	Federal Security Service
FSL	Free Space Loss
FSS	Fixed satellite service
FTTP	Fiber To The Premises
Gbps	Giga bit per second
GEO	Geosynchronous Equatorial Orbit
GEO	Geostationary Orbit
GPP	Generation Partnership Project
HAPS	High Altitude platform station
HEO	High Earth Orbit
HD	High Definition
HTS	High Throughput Satellite
ICT	Information and Communications Technology
IFIC	International Frequency Information Circular
IOT	Internet of things
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
ITU-D	ITU Development sector
ITU-R	ITU Radio Communication sector
ITU-RR	ITU Radio Regulation
ITU-T	ITU Telecommunication Standardization sector
ISL	Inter Satellite Link
ISRO	Indian Space Research Organization
LAPS	Low Altitude platform station
LEO	Low Earth Orbit
LHCP	Left hand Circular polarization
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
Mbps	Mega bit per second

MCS	Measurement Control Systems
MEF	Metro Ethernet Forum
MEO	Medium Earth Orbit
mMTC	massive Machine Type Communication
MNO	Mobile Network Operator
MSS	Mobile Satellite Service
NTN	Non Terrestrial Network
NMS	Network Management System
ODMSP	Orbital Debris Mitigation Standard Practices
OMCS	Operation and Maintenance of the Control System
O3b	Other three Billion
PFD	Power Flux Density
POP	Point Of Presence
RF	Radio Frequency
RHCP	Right Hand Circular Polarization
SCPC	Single Channel Per Carrier
SCRF	Russian State Commission for Radio Frequencies
SDM	Short Duration Mission
SDR	Software Define Ratio
SES	State Emergency Service (Company name)
SI	Satellite Internet
ST	Station Terminal
STM	Space Traffic Management
SWOT	Strengths, Weakness, Opportunities, Threats,
TDMA	Time Division Multiplexing Access
TT&C	Telemetry Tracking and Control
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UHD	Ultra High Definition
ULA	United launch Alliance
UNOOSA	United Nation Office for Outer Space Affairs
uRLLC	ultra Reliable low Latency Communication
VLEO	Very Low Earth Orbit
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WRC	World Radio Communication Conference

واژه‌نامه	
Availability	در دسترس بودن
Antenna Radiation Pattern	الگوی تشعشعی آنتن
Backhaul link	لینک بکهال
Beamforming	شکل‌دهی پرتو
Bent pipe	شفاف یا لوله خمیده
Beam steering	چرخش پرتو
Beam multiplexing	مالتی‌پلکس پرتوها
Beam width	پهنای پرتو
Blocking interference	تداخل مسدودکننده
Brining in use	آغاز بهره‌برداری
Broadcast	پخش همگانی
Cloud service provider	ارایه‌دهنده خدمات ابری
Co-channel interference	تداخل هم کانال
Convergence	همگرایی
Coordination	هماهنگی
CubeSat	ماهواره مکعبی
Cutting Edge Technology	فن‌آوری مرز دانش
Coverage	پوشش
Debris	پسماند
Debris mitigation	کاهش پسماند فضایی
Denial of service	محرومیت سرویس
Digital beamforming network	شبکه شکل‌دهی پرتو دیجیتال
Disguised	جاعل
Downlink	فروسو
Dynamic Rang	محدوده دینامیکی
Doppler Multichannel Spread Spectrum	طیف گسترده چند کاناله داپلر
Enhanced mobile broadband	پهن‌باند متحرک ارتقاء یافته
Equivalent power flux density	چگالی شار توان معادل
European Code of Conduct for Space Debris Mitigation	آیین‌نامه اروپایی برای کاهش پسماند فضایی
European Space Agency	آژانس فضایی اروپا
Feedback link	لینک بازگشتی
Federal Security Service	خدمات امنیت فدرال
Free space Loss	تلفات فضای آزاد

Frequency Allocation	تخصیص فرکانس
Frequency Reuse	استفاده دوباره از فرکانس
First Come First Served	خدمت بر اساس اولویت ثبت
Gateway	دروازه زمینی
Geostationary satellite	ماهواره مدار ژئوسنکرون
Government and enterprise services	خدمات دولتی/ سازمانی
Handover	دست به دست شدن
Heliocentric orbit	مدارهای مارپیچی
High altitude platform system	سامانه سکوی ارتفاع بالا
High throughput satellite	ماهواره‌های پرظرفیت
Inbound	داخل باند
Inclination angle	زاویه انحراف
Inflatable antenna	آنتن استقرار بادی
Inline events	تداخل درون خطی
International Academy of Astronautics	آکادمی بین‌المللی فضانوردی
Internet of things	اینترنت اشیا
Inter satellite link	لینک بین ماهواره‌ای
Kessler syndrome	سندروم کسلر
Landing right	حقوق سرزمینی
Look angle	زاویه دید
Low altitude platform station	سامانه‌های ارتفاع پایین
Launching	پرتاب (ماهواره)
Massive machine type communication	ارتباطات از نوع ماشینی گسترده
Mega constellation	ابرمنظومه
Media Streaming	جریان رسانه‌ای
Measurement Control Systems	اندازه‌گیری و سیستم کنترل
Multi beam antenna	آنتن چندپرتویی
Multimedia Service	خدمات چندرسانه‌ای
Multipath	چندمسیری
Multiplexing	متعدد کردن
New space Era	عصر فضایی جدید
Non terrestrial network	شبکه‌های غیرزمینی
Network management system	سیستم مدیریت شبکه
Operation and maintenance	عملیات و نگهداری
Orbital period	دوره مداری

Outbound	خارج باند
Passivization	غیرفعال‌سازی
Phased array antenna	آنتن آرایه فازی
Polar orbit	مدار قطبی
Point of presence	نقطه حضور
Quality of service	کیفیت سرویس
Radio regulation	مقررات رادیویی
Real time video	ویدیو همزمان
Receiver sensitivity	حساسیت گیرنده
Regulatory protection	حفاظت رگولاتوری
Reliability	قابلیت اطمینان
Resource allocation	تخصیص منابع
Rogue satellite	ماهواره خارج از کنترل
Rural area coverage	پوشش ناحیه روستایی
Satellite constellation	منظومه‌های ماهواره‌ای
Satellite internet	اینترنت ماهواره‌ای
Scalability	مقیاس‌پذیری
Seamless handover	دست به دست شدن بین شبکه‌ای
Short duration mission satellite	ماهواره با طول عمر کوتاه
Small Satellite	ماهواره‌های کوچک
Software-defined radio	رادیوی مبتنی بر نرم‌افزار
Space fence radar	رادار محافظت فضایی
Space garbage	آشغال‌های فضایی
Space surveillance network	شبکه نظارت و ارزیابی فضایی
Space traffic management	مدیریت ترافیک فضایی
Space vertical	شاخه فضایی
Space waste	پسماندهای فضایی
Spot beam	پرتو نقطه‌ای
Steering angle	زاویه نشانه
Suburban	حومه شهری
Sub-orbital Vehicles	تجهیزات زیرمداری
Time division	تقسیم زمانی
Thrusters	پیشرانه
Throughput	توان عملیاتی

Torpedo	حمله اژدر
Ubiquity	فراگیر بودن
Ultra reliable low latency communication	ارتباطات کم تاخیر و فوق‌العاده قابل اعتماد
Unmanned aerial vehicle	پهپاد
Uplink	فراسو
Vertical Markets	بازارهای عمودی
Video on Demand	ویدیو برحسب تقاضا
Web browsing	وب گردی



Ministry of Communications and Information Technology

ICT Research Institute

(ex Telecommunication Research Center)

Mega Constellation and New Generation of Satellite Internet

Mohammad Bod
Parvin Sojoodi Sardrood
Leila Mohammadi




9786220828105